



Évaluation des politiques de lutte contre le gaz à effet de serre
Composition et synthèse de trois approches complémentaires

Programme « Gestion et Impact du Changement Climatique »
Convention de recherche multipartenaires
N° 07-A/2002 (référence Accord N° CV 02000236)

**Impact d'une tarification des émissions de gaz à effet de serre
sur les agricultures européennes**

Configuration, résultats et propositions de consolidation du modèle AGRIPOL

Rapport final

Bruno DORIN

Résumé

Nous présentons ici des résultats obtenus par le modèle AGRIPOL sur le coût marginal d'abatement des émissions de carbone par le secteur agricole pour l'ensemble des pays de l'Europe des 15, ceci en 2000, en 2020 et en 2030. La deuxième partie du rapport fait le point des difficultés méthodologiques rencontrées et formule des propositions pour des recherches futures permettant une meilleure insertion du secteur agricole dans les modèles visant à étudier les coûts des politiques climatiques. Les données numériques premières correspondant aux résultats décrits dans les graphiques des pages 6 à 9 peuvent être téléchargées à l'adresse internet <http://www.centre-cired.fr/forum/article419.html>.

Sommaire

Résumé	2
Sommaire	2
Introduction	3
1. Le modèle AGRIPOL.....	3
2. Les résultats du modèle	5
3. Bilan méthodologique et limite des résultats existants	10
31. Une prédéfinition insatisfaisante des paquets techniques	10
32. De nombreux paramètres avec données manquantes	12
33. D'autres difficultés à surmonter	13
4. Des propositions de consolidation.....	15
41. Fonctions attendues du nouvel outil.....	16
42. Atouts et limites du nouvel outil	17
ANNEXE 1. Caractérisation des paquets techniques dans Agripol.....	19
ANNEXE 2. Réflexions additionnelles sur Agripol et les typologies des conduites technico-économiques.....	23
ANNEXE 3. Ébauche de configuration des écrans de saisie pour Agropol	32
Références bibliographiques	36

<p style="text-align: center;">Impact d'une tarification des émissions de gaz à effet de serre sur les agricultures européennes Configuration, résultats et propositions de consolidation du modèle AGRIPOL</p>
--

Introduction

Dans le cadre du programme GICC (Gestion et Impact du Changement Climatique), le projet intitulé « Évaluation des politiques de lutte contre le gaz à effet de serre – Composition et synthèse de trois approches complémentaires » s'est associé au CIRAD pour étendre à l'agriculture le modèle technico-économique PRIMES couvrant 15 pays de l'Union Européenne, ceci afin de « permettre d'élaborer des courbes de coût marginal du carbone qui intègrent les changements possibles de pratiques agricoles à la suite d'incitations pour une prise en compte des émissions ».

Ce rapport présente le résultat de travaux réalisés dans le courant des années 2003 et 2004. Il est structuré en quatre parties :

- (1) une présentation du modèle AGRIPOL ;
- (2) un exposé des résultats obtenus pour 15 pays de l'Union Européenne ;
- (3) une mise en évidence des difficultés méthodologiques et des obstacles rencontrés du point de vue des données de base ;
- (4) des propositions pour dépasser les limites actuelles de l'outil et améliorer la fiabilité de ses résultats.

1. Le modèle AGRIPOL

AGRIPOL est une structure de modélisation des agricultures du monde dont la construction a débuté avec le programme GECS (*Global Emission Control Strategies*) du 5^{ème} PCRD¹ européen (1998-2003).

Ce module appartient à la catégorie des modèles statiques d'optimisations économiques sectorielles. Il a été conçu dans le but d'évaluer, pour le secteur agricole, l'effet de politiques de tarification du carbone sur des états (constatés ou projetés) d'utilisation des terres et d'émission de gaz à effet de serre (GES)¹. Ainsi, dans chacune des régions du monde considérées (en l'occurrence 40 pour permettre l'intégration des résultats à des modèles multisectoriels d'évaluation de politiques climatiques tels que POLES, MARKAL ou ici GEM-

¹ Objectif rejoignant par exemple celui du modèle POLES (IEPE, Grenoble) qui, pour le secteur énergétique, estime par région des courbes de coût marginal d'abattement des émissions de CO₂, pour préciser ensuite diverses questions, qu'elles se rapportent au marché de droits d'émissions, aux impacts de politiques d'abattement sur l'offre et la demande, à la valeur de l'innovation technique, etc.

E3), AGRIPOL décrit le comportement du secteur agricole en l'assimilant à un agent économique dont le programme est la maximisation du revenu. Les variables de décision du secteur sont des choix de productions plus ou moins rémunératrices (bovins-lait, bovins-viande, riz, autres céréales, oléo-protéagineux, racines et tubercules, voire nouveaux pâturages si l'activité bovin le nécessite, et bio-carburants si cette activité est estimée viable), ces productions étant à leur tour désagrégées en 4 itinéraires techniques (« *basic* », « *improved* », « *advanced* » et « *optimum* »). Ceci forme donc un ensemble d'au plus 32 systèmes de production (8x4) caractérisés par leur productivité (rendement), leur intensité en facteurs (capital, main d'œuvre qualifiée ou non, intrants), leur structure de coûts (charges opérationnelles et charges structurelles) et leurs émissions en GES (CH₄, N₂O et CO₂). De façon également innovante, Agripol affecte à chaque système un coefficient de variation du rendement ainsi qu'un coefficient d'aversion plus ou moins important à l'incertitude de ces rendements.

Le programme de maximisation résolu est le suivant :

$$\text{MAX} \sum_{i,j} (RDT_{ij} * P_i - CP_{ij} + ADREV_{ij} + SUB_i) * X_{ij} - \frac{1}{2} * \alpha * (\sigma_{ij} * RDT_{ij} * P_i * X_{ij})^2 - (GES_{ij} * TC) * X_{ij}$$

avec : les activités productives *i* et leurs itinéraires techniques *j*

RDT le rendement en tonne par hectare ou par animal

P le prix d'une tonne du produit principal de l'activité *i*

CP les coûts fixes et variables de production par hectare ou animal

ADREV les revenus additionnels (ex : vente de paille) et *SUB* les subventions par hectare ou animal

α le coefficient d'aversion au risque compris entre 0 (aucune) et 1 (totale aversion)

σ le coefficient de variation du rendement

GES la quantité émise de GES en équivalent tonne carbone

TC le tarif d'une tonne de carbone

X étant le niveau d'activité (nombre d'hectares ou d'animaux) sur lequel s'effectue l'optimisation

Cette maximisation du revenu espéré s'effectue sous contraintes de ressources productives (terres cultivables, fourrages pour animaux...) qui ne peuvent être utilisées au delà de leur disponibilité dans une région donnée. Par ailleurs, et pour les besoins de l'exercice, est introduite la contrainte supplémentaire selon laquelle les quantités produites sont identiques à celles qui le sont en l'absence de politique environnementale : le secteur doit répondre à la demande exprimée dans une région, cette demande étant soit constatée (année de base du modèle), soit évaluée par d'autres modèles, soit encore l'expression d'objectifs politiques (sécurité alimentaire ou autres). On considérera donc que cette demande est inélastique au prix, ce qui est une approximation acceptable pour le moment dans la mesure où on peut considérer que tel est le cas pour la demande alimentaire globale, et que les substitutions entre produits se font à l'intérieur des catégories elles-mêmes relativement fixes.

Ces deux grandes contraintes nécessitent donc de disposer d'un état des ressources disponibles et des demandes en produits agricoles aux moments où l'on souhaite conduire l'analyse. Dans la version actuelle d'AGRIPOL, ces états sont ceux fournis par le modèle IMAGE (NEAA, ex-RIVM, Pays-Bas) qui, ici à partir du scénario énergétique *Business As Usual* (BAU) du GECS, estime les demandes régionales de produits agricoles en fonction de divers paramètres (population, revenu par habitant, préférence alimentaire, disponibilité en terres, potentiels agronomiques, productivité du cheptel, etc.), ceci jusqu'en 2100².

² IMAGE simule la dynamique mondiale du système société-biosphère-climat en couplant 3 grands modèles : (1) un modèle « Energie-Industrie » qui comptabilise les émissions de GES issues des productions et consommations énergétiques pouvant être déduites de diverses tendances démographiques et économiques ; (2) un modèle « Environnement terrestre » (incluant le modèle AEM pour l'économie agricole) qui simule les

En pratique, les données d'IMAGE mises à disposition se limitent à quelques années (1995, 2000, 2010 et 2030) ainsi qu'aux volumes de productions (lait, viande, riz...) et aux volumes de ressources (surfaces arables uniquement)³ renseignés pour 17 grandes régions du monde. La désagrégation régionale d'AGRIPOL étant supérieure à celle d'IMAGE (40 régions contre 17), ces contraintes en quantités sont réparties à l'aide de volumes FAO estimés par pays (moyenne triennale 1994-1996), et en supposant que ces clefs de désagrégation demeureront constantes au fil du temps.

On notera également qu'en raison de l'absence de système de prix dans IMAGE, il est nécessaire de renseigner dans AGRIPOL le prix de vente des denrées (y compris sous- ou co-produits) ainsi que les éventuelles subventions qui viennent agrémenter le revenu de l'activité⁴. Il en est de même pour les coûts (opérationnels et structurels), les rendements (végétaux et animaux, produits et co-produits) et les émissions de GES (CH₄, N₂O et CO₂).

Le code d'AGRIPOL est disponible sous Gams.

2. Les résultats du modèle

Les modèles économiques sectoriels peuvent évaluer les coûts marginaux d'abattement en GES de deux manières :

- en forçant le modèle sur les quantités de GES émises, et en observant la modification des coûts de production qui en résulte ;
- en forçant le modèle via les prix (introduction d'une prime au stockage ou d'une pénalité sur les émissions), et en observant la modification des émissions en GES qui en résulte.

Pour AGRIPOL, étant donné ses contraintes de fonctionnement (calage des quantités produites sur celles d'Image), c'est la seconde méthode qui est utilisée (un prix du carbone vient augmenter les coûts de production).

Ainsi, après un calibrage des coefficients α d'aversion au risque de manière telle que le modèle reproduise les surfaces agricoles d'IMAGE en l'absence de tarification du carbone, un ensemble de simulations avec tarification de 5 à 195 euros par tonne équivalent carbone a été effectué pour les 15 pays de l'Union Européenne.

Les résultats obtenus par pays sont représentés au sein de la Figure 1 ; les chiffres et leurs détails sont disponibles sous forme de fichier Excel ; une interface sous Access est également disponible pour visualiser le niveau et l'évolution de diverses variables.

changements d'occupation des sols sur la base de facteurs économiques et climatiques, ainsi que les flux de GES de la biosphère à l'atmosphère ; (3) un modèle « Atmosphère–Océan » qui calcule l'accumulation de GES dans l'atmosphère et ses conséquences en termes de températures et de précipitations dans les différentes régions du monde. Après calibrage, IMAGE parvient ainsi à reproduire les tendances déjà observées entre 1970 et 1990 sur les consommations régionales d'énergie et les émissions de GES qui en découlent, les flux terrestres de GES et leur concentration dans l'atmosphère, les changements d'occupation des sols (<http://www.ciesin.org/datasets/rivm/image2.0-home.html>).

³ Les tonnages en engrais auraient par exemple pu être également mobilisés, mais cela impliquait alors de renseigner correctement dans Agripol les quantités d'engrais N, P et K utilisées par chaque itinéraire technique : une entreprise qui nécessite le développement de nouveaux outils comme on le montrera ultérieurement.

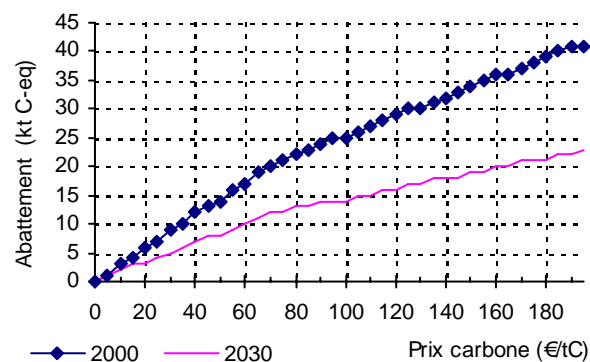
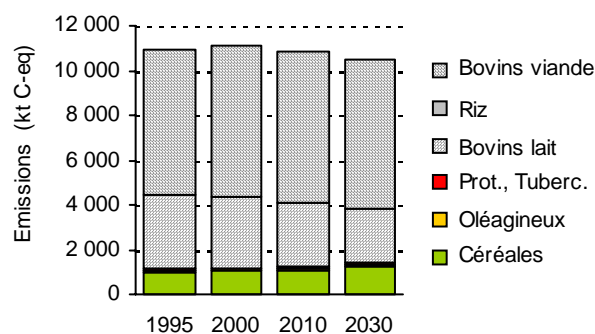
⁴ Dans AGRIPOL, pour répondre à la demande, les producteurs ajustent donc leurs itinéraires techniques et non leurs prix de vente, ces derniers demeurant par ailleurs inchangés durant les simulations puisqu'il s'agit de ceux de l'année où sont renseignés les coûts, subventions, etc.

Figure 1. Émissions agricoles de GES et courbes d'abattement selon Agripol

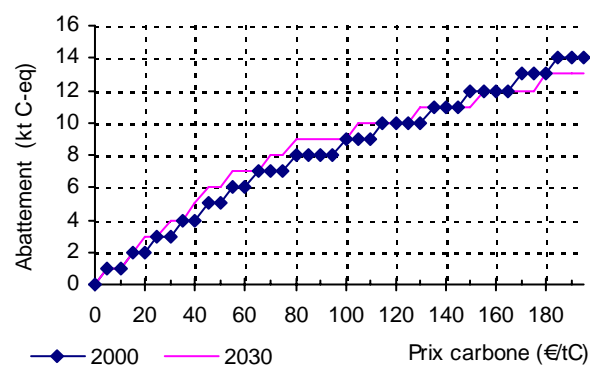
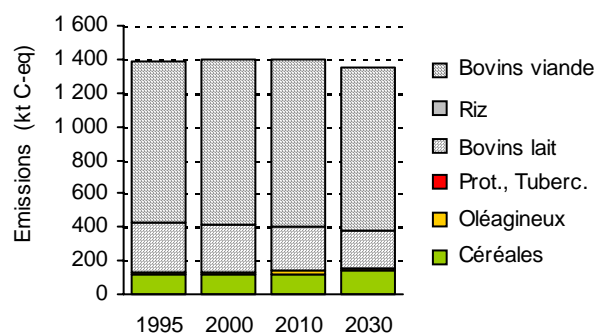
Émissions de base en tonnes équivalent carbone suivant scénario BAU du GECS

Courbes d'abattement de 5 à 195 € par tonne équivalent carbone (euro de 2000)

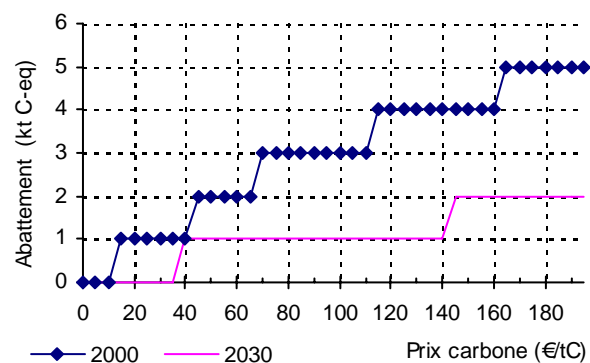
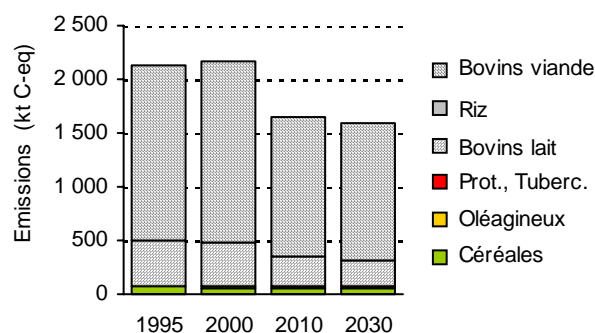
Allemagne



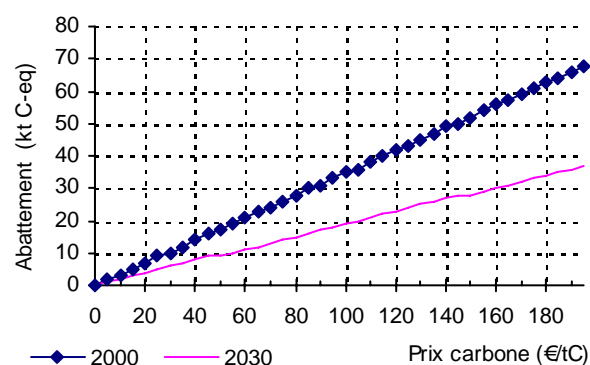
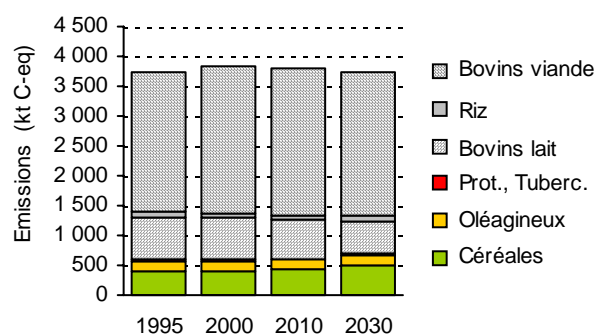
Autriche



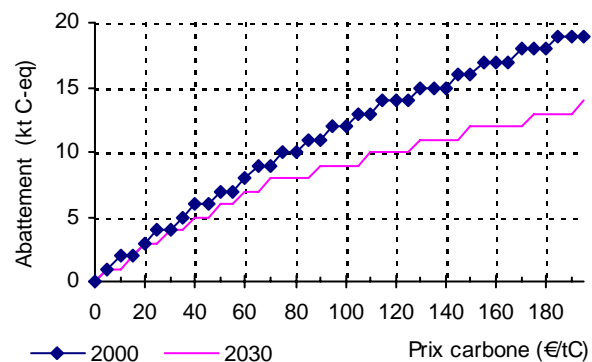
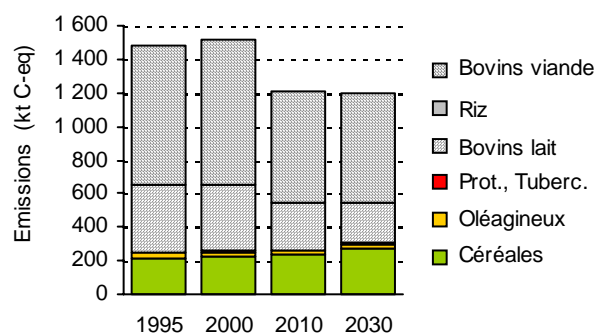
Belgique et Luxembourg



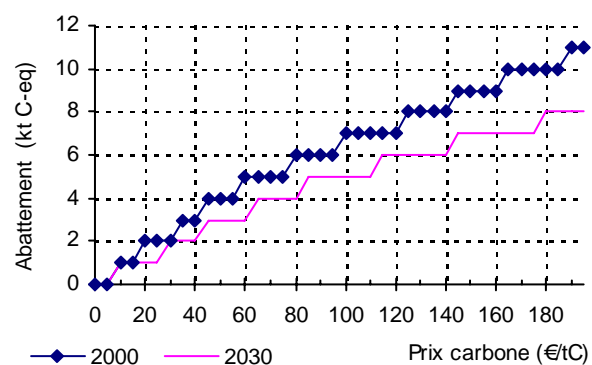
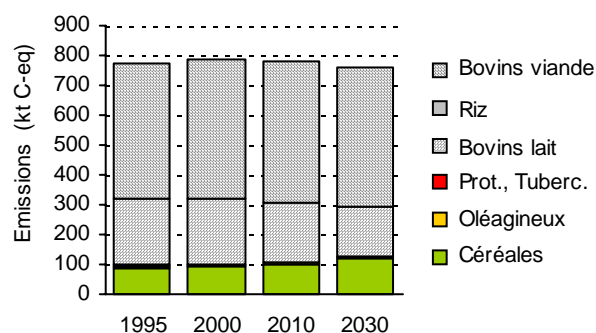
Espagne



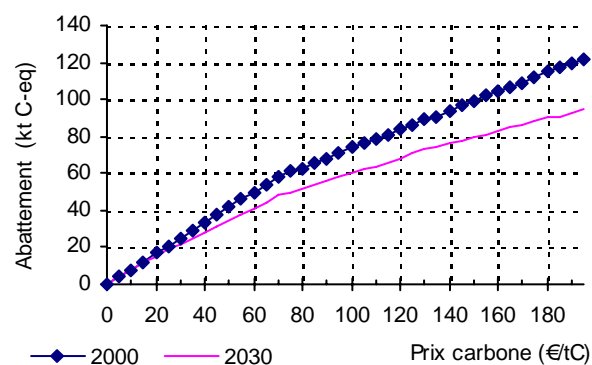
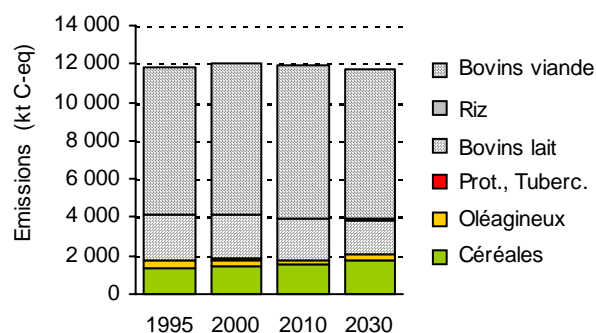
Danemark



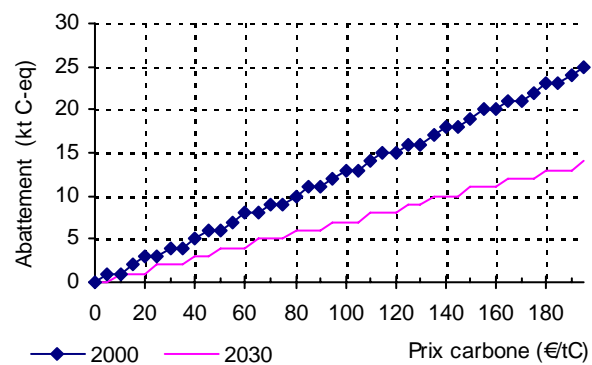
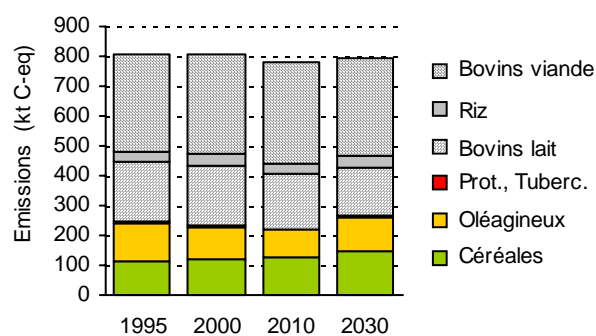
Finlande



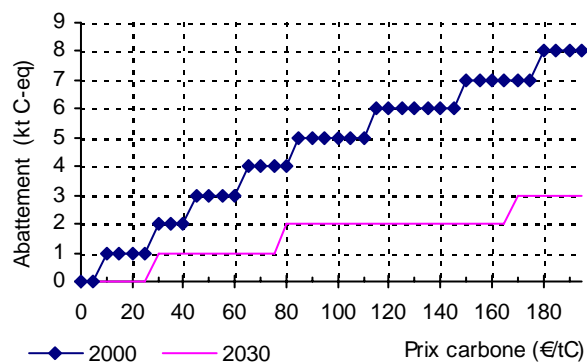
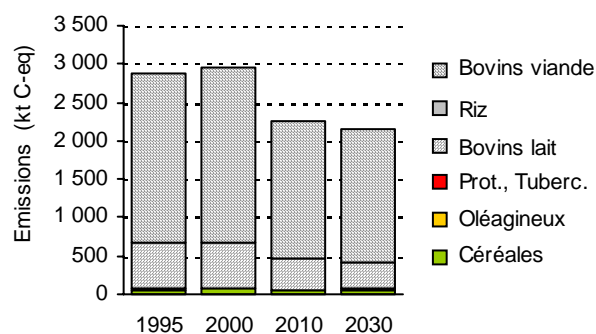
France



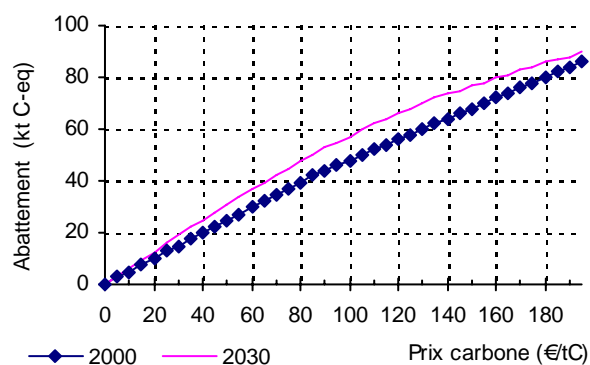
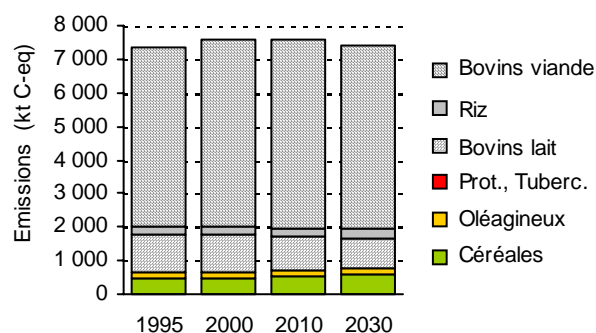
Grèce



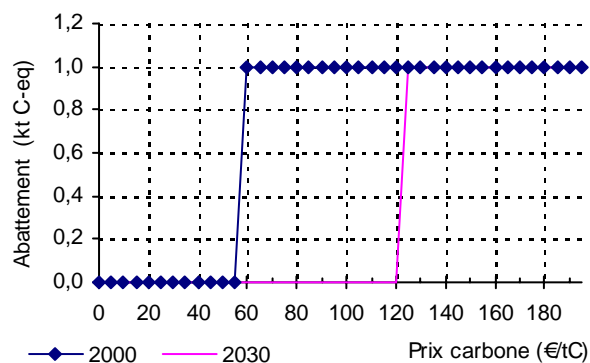
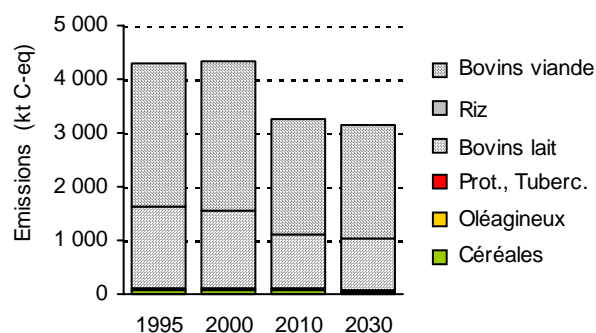
Irlande



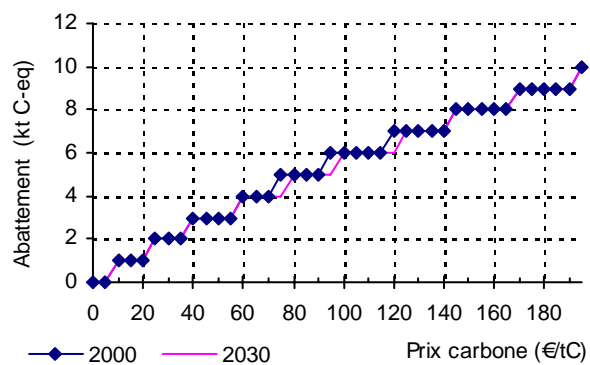
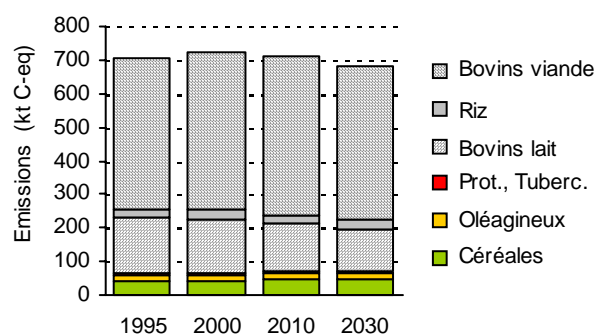
Italie



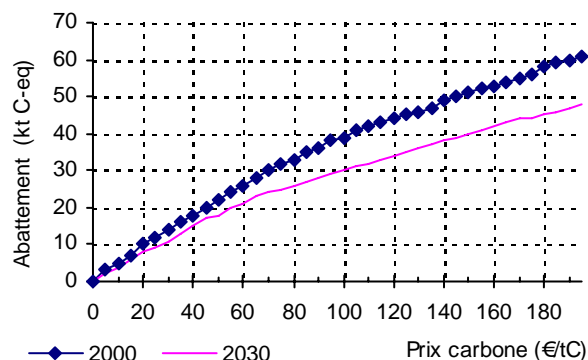
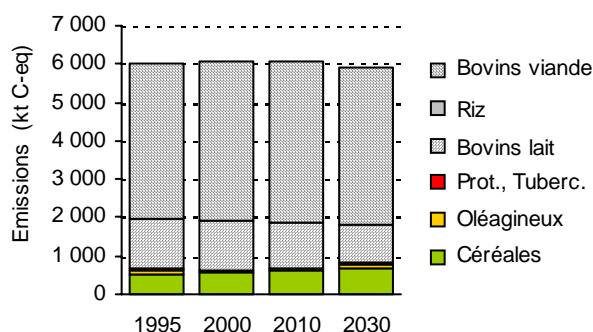
Pays-Bas



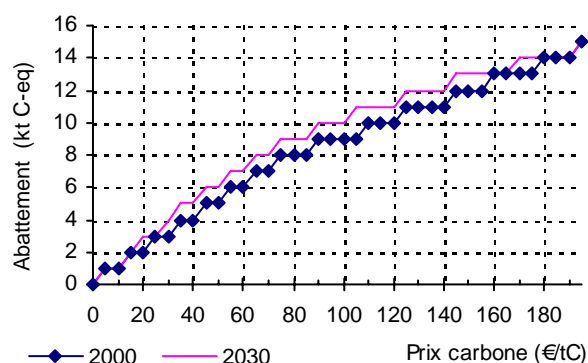
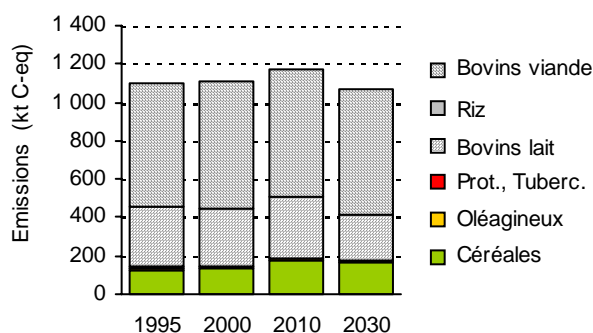
Portugal



Royaume-Uni



Suède



Ces simulations, dont on expose par la suite les limites et insuffisances (cf. troisième partie) ainsi que des propositions pour les surmonter (cf. quatrième partie), confortent pour l'instant trois grandes présomptions :

- (1) les possibilités d'abattement apparaissent limitées : en France par exemple, elles ne représenteraient pas plus de 1% des émissions du secteur agricole avec un tarif très élevé de 195 €/tC-eq. (0,35% avec un tarif de 50 €), ceci alors que ces émissions sont officiellement estimées à 27 millions de tonnes équivalent carbone en 2000 (12 avec AGRIPOL)⁵, soit 18% des émissions nationales et près d'un quart des émissions agricoles de l'Union à 15 (cf. <http://reports.eea.eu.int>) ;
- (2) toutes choses égales par ailleurs⁶, et à de rares exceptions près (ici Italie et Suède, voire Autriche), ces possibilités d'abattement seraient encore plus réduites à l'avenir (horizon 2030), ce que la relative inélasticité de la demande alimentaire et des ressources en terres laissent suspecter ;
- (3) l'essentiel des abattements simulés s'effectue dans l'élevage des vaches laitières : les connaissances actuelles montrent en effet qu'on peut abattre des quantités significatives de méthane par litre produit en réduisant les quantités de fourrages dans l'alimentation du bétail (et donc de sol pour les produire) tout en augmentant les aliments dit « concentrés », autrement dit les autres productions agricoles (céréales et oleo-protéagineux pour l'essentiel).

⁵ Outre le fait qu'AGRIPOL ne couvre pour l'instant pas l'intégralité des productions agricoles (élevages autres que bovins par exemple), et qu'il fonctionne ici avec des coefficients d'émission plus qu'approximatifs (cf. troisième partie), il faut rappeler que ces émissions peuvent être comptabilisées de bien des manières : le format Secten du CITEPA inclue par exemple (et très logiquement) les émissions issues de la consommation d'énergies fossiles à la ferme (CITEPA, 2005), ce qui rajoute pour la France 7 à 8% au secteur agricole par rapport aux inventaires nationaux basés sur les 5 rubriques « Agriculture » du GIEC. On pourrait aussi inclure dans la comptabilisation les émissions issues de la fabrication et du transport des intrants agricoles (engrais chimiques, aliments pour animaux...), etc.

⁶ dont ici le non-développement à grande échelle de biocarburants d'origine agricole ou sylvicole

3. Bilan méthodologique et limite des résultats existants

3.1. Une prédéfinition insatisfaisante des paquets techniques

La grande particularité et difficulté d'AGRIPOL est d'identifier par production agricole des itinéraires techniques qui soient en nombre suffisamment restreint pour que l'outil reste maîtrisable, et en contenu suffisamment contrasté pour refléter les grandes options de productions actuelles ou à venir. Puisqu'il s'agissait aussi d'obtenir des paquets techniques contrastés en terme d'émission de GES, la démarche initiale a consisté à d'abord répertorier les facteurs aujourd'hui connus comme impactant ces émissions (Tableau 1), puis à distribuer ces derniers au sein d'une typologie de conduites techniques comprenant quatre archétypes : « basic », « amélioré », « avancé » et « optimum » (cf. Annexe 1).

Tableau 1. Facteurs impactant les émissions agricoles de GES

Source : Deybe et Fallot (2002)

ACTIVITES	VARIABLES	MODALITES
Élevage	Type d'animal	<i>Breeding ; High genetic merit cow ; Younger slaughter</i>
	Type d'alimentation	<i>Silage ; Grains ; NSC ; Extra fat ; Propionate precursors</i>
	Mode d'alimentation	<i>Increased feed intake ; In feedlots (≠ outdoor only) ; Optimal level of intake ; Physical treatment ; Chemical treatment</i>
	Stockage des déjections	<i>Indoor ; Removed from stable ; Removed and stored in cool</i>
	Valorisation des déjections	<i>Handled to fertilize fields ; In farmscale biodigester ; In centralised biodigester</i>
Riziculture	Alimentation en eau	<i>Non-irrigated ; Irrigated continuously flooded ; Irrigated with drainage ; Deep water</i>
	Cultivar	<i>Unspecified ; Low CH₄ emitting</i>
	Fertilisation	<i>Organic matter ; Optimised organic amendment ; Mineral fertilizer (urea...) ; Sulfate-containing</i>
	Pratique culturale	<i>Transplanting ; Direct seeding ; Wet tillage</i>
Cultures Fertilisées	Agriculture de précision	<i>Enhanced spreader maintenance ; Optimised distribution geometry ; Site specific application</i>
	Contrôle azoté	<i>Soil testing ; Allowing for manure N + residual N ; Tools to measure N status of crop</i>
	Fertilisation ciblée	<i>Split application ; Controlled release fertilisers ; Nitrification inhibitors ; Liquid or powder form of fertiliser ; Slurry injection ; Foliar application</i>
	Autres	<i>Fertiliser free zone ; Minimise fallow periods ; Water management</i>
Pâtures	Type de pâture	<i>Deep-rooted herbs ; Optimised distribution geometry</i>
	Agriculture de précision	<i>Enhanced spreader maintenance ; Optimised distribution geometry ; Site specific application</i>
	Contrôle azoté	<i>Soil testing ; Tighten N flow cycle ; Tools to measure N status of crop</i>
	Fertilisation ciblée	<i>Split application ; Controlled release fertilisers ; Nitrification inhibitors ; Liquid or powder form of fertiliser</i>
	Autres	<i>Increase in the cutting frequency ; Fertiliser free zone</i>

Ces archétypes, bien sûr très stylisés, sont définis par les principes suivants :

- ils correspondent à quatre niveaux croissants de rendement ;
- plus le rendement augmente, plus les coûts (fixes et opérationnels) de production sont importants ;
- plus le rendement augmente, plus le risque de variation de ce dernier diminue ;
- plus le rendement augmente, plus sont importantes les consommations en énergie (tep par animal ou par hectare)⁷ et les émissions de GES, excepté pour le paquet « optimum » dont les

⁷ Cette consommation en énergie est ensuite traduite en équivalent CO₂, suivant un coefficient normalement spécifique à chaque région considérée, puisque chacune d'entre elles utilise en proportion variable des sources d'énergie plus ou moins émettrices en GES (charbon, pétrole, gaz, nucléaire...). Un coefficient universel de 0,5 t

valeurs sont inférieures au troisième (« *advanced* »), voire au premier (« *basic* ») pour les émissions en CH₄ ou N₂O.

Ainsi, plus on investit et consomme d'intrants, plus on augmente le rendement, plus on s'émancipe des contraintes du milieu physique (moindre variation des résultats), et plus aussi on émet de GES (CO₂, CH₄ et N₂O), exception faite du dernier paquet (« *optimum* ») qui se préoccuperait plus particulièrement de les réduire.

Cette typologie est séduisante mais s'avère en pratique très difficile à renseigner avec les bases de données agro-économiques existantes :

- ces dernières n'ont pas été élaborées pour repérer et analyser les facteurs impactant les émissions de GES énoncés plus haut ;
- les coûts de ces derniers, ainsi que leur conséquence sur les rendements, sont par ailleurs loin d'être individuellement connus, qui plus est pour les divers contextes et productions ici considérés.

Face à cette importante difficulté, il a été procédé comme suit en première approximation :

- chaque paquet technique est doté d'un niveau d'émissions (par hectare ou par animal) évalué à partir de ce que la littérature (GIEC en particulier) permet de déduire en combinant telle ou telle technique influant l'émission de GES (cf. Tableau 1 et Annexe 1) ;
- les rendements moyens (en lait, viande, riz...) observés dans une région donnée ont quant à eux été associés – en fonction de leur montant – à l'un des quatre paquets, de même que les coefficients techniques (montant de grains par animal, dose d'engrais par hectare, etc.) qu'il était possible de renseigner ou déduire avec ces rendements moyens ;
- les rendements et coefficients techniques des autres paquets sont des variations proportionnelles aux rendements et coefficients « de référence ».

Cette première démarche permet de faire fonctionner le modèle et d'illustrer avec les résultats obtenus quelques grands mécanismes à l'oeuvre (cf. § 2). Mais elle conduit également à des distorsions qui ne sont pas de second ordre, et qui s'avèrent particulièrement prononcées lorsqu'on s'éloigne des quelques cas européens ou nord-américains utilisés pour étalonner de nombreux paramètres⁸. Ces distorsions résultent pour l'instant d'une démarche qui tente de concilier :

- d'un côté des rendements spécifiques à chaque région, de l'autre des coefficients d'émission constants par paquet technique ;
- d'un côté des rendements augmentant au fil des paquets, de l'autre des techniques non pas d'augmentation de ces rendements, mais d'abattement des émissions.

Pour essayer de lever ces limitations et obtenir des résultats plus crédibles que les précédents, deux grandes voies ont été ouvertes :

(1) retravailler la prédéfinition des conduites technico-économiques et renseigner en données les archétypes retenus à partir d'expérimentations par production réalisées dans chacune des régions considérées ;

de CO₂ par tep est néanmoins et pour l'instant ici utilisé, car pour les simulations au-delà de l'année de base (1995), il est nécessaire d'obtenir le détail du scénario énergétique GECS sur lequel IMAGE base ses simulations.

⁸ Les résultats d'AGRIPOLE à l'échelle globale (Deybe et Fallot, 2003) s'appuient ainsi sur des paquets techniques dont les rendements sont donc extrêmement variables entre régions (calage chaque fois sur la moyenne régionale d'IMAGE) alors que leurs émissions demeurent universellement fixes. Pour la production de lait par exemple, l'itinéraire « *basic* » produirait 55 kg par animal de méthane en Amérique centrale comme au Canada, alors que dans cette dernière région, le rendement y est trois fois plus élevé (3 099 kg de lait par animal contre 957 en Amérique Centrale).

(2) coupler AGRIPOL à un modèle ingénieur reliant explicitement contextes agro-écologiques, techniques de production, coûts, rendements et émissions de GES, ceci afin d'estimer – à partir de quelques études de cas par production – les données de paquets techniques actuels ou potentiels.

La section suivante s'attache à montrer pourquoi la première voie a été écartée. Elle confortera également l'idée selon laquelle une prédéfinition des conduites technico-économiques s'avère une entreprise difficile à l'échelle des agricultures européennes ou mondiales (voir Annexe 2 pour un exposé plus complet) : la solution au problème résiderait plutôt dans l'élaboration préalable d'un modèle ingénieur (§ 4).

32. De nombreux paramètres avec données manquantes

Dans son actuelle version, AGRIPOL nécessite en théorie d'identifier, pour 8 productions et dans 40 régions :

- (1) quatre niveaux croissants de productivité répartis autour d'un rendement régional moyen constaté ou projeté (ici par IMAGE) ;
- (2) les quantités et les disponibilités en ressources nécessaires pour atteindre chaque niveau de productivité identifié : terre, capital, main d'œuvre qualifiée ou non, intrants (irrigation et engrais pour les cultures, fourrage et grains pour l'élevage) ;
- (3) les coefficients locaux de variation de ces rendements et l'attitude locale des producteurs vis-à-vis du risque (pour évaluer le coût de l'aversion au risque) ;
- (4) les coûts (fixes et variables) et les revenus additionnels de chaque paquet technique (pour estimer le revenu avec des prix de vente et des subventions à connaître par ailleurs pour chaque production) ;
- (5) les niveaux d'émission en CH₄, N₂O et CO₂ de chaque option technico-économique (pour estimer l'émission de GES en équivalent carbone).

Ces paramètres nécessitent non seulement d'être directement renseignées puisqu'aucune fonction ne les relie actuellement, mais doivent également et *in fine* conduire à quatre « options techniques » caractérisées par des émissions contrastées de GES puisque ces émissions sont au cœur de l'optimisation qui est ensuite poursuivie. Ceci représente plus de 20 000 paramètres à collecter (Tableau 2) auxquels doivent s'ajouter à terme ceux relatifs à :

- d'autres contraintes sur les ressources (pour l'instant restreintes aux disponibilités en terre et en aliments pour animaux),
- d'autres activités (foresterie, ovins, porcins, volaille...),
- d'autres sources de GES (en particulier le stockage/déstockage de carbone dans sol et la biomasse après changement d'occupation des terres).

Buter dans un premier temps sur un problème de données n'est pas en soi un obstacle à l'emploi d'une méthode. Il semble cependant qu'on doive ici tenir compte de quatre interrogations importantes :

- (a) peut-on raisonnablement renseigner pour 40 régions du monde certains paramètres qui ne sont aujourd'hui pas même évalués (attitude vis-à-vis du risque par exemple), ou qui ne le sont que par des observatoires aussi rares que fermés (enquêtes Arvalis en France, Lucas pour l'Europe...), ou encore dont la mesure est l'objet de très vives controverses (subventions aux productions par exemple, dont les très diverses formes sont loin d'être intégrées dans une mesure comme l'ESP) ?
- (b) peut-on disposer de ces données non seulement à une échelle régionale, mais aussi et pour la plupart d'entre elles à la sous échelle de quatre modes de conduite technico-économiques que l'on trouve dans AGRIPOL, mais pas dans les appareils statistiques en place ?

(c) en supposant que ces paramètres puissent un jour être plus ou moins bien renseignées pour une année donnée, ne sera-t-il pas alors nécessaire de réinvestir dans leur actualisation ?

(d) peut-on envisager d'utiliser certains paramètres particulièrement attachés à un contexte temporel (coûts fixes et variables en tout premier lieu) pour projeter le comportement d'un secteur à plus ou moins long terme (horizon 2030 par exemple) ?

La réponse à ces interrogations nous a encouragé à abandonner une collecte de données qui ce serait avérée aussi longue que trompeuse sur l'amélioration de la robustesse des résultats du modèle. Nous avons plutôt exploré une piste qui nous paraissait plus prometteuse bien qu'au demeurant plus grossière (utilisation de fonction de coûts par exemple). Avant d'en présenter les grands traits (§ 4), nous signalons auparavant trois autres difficultés de méthode qu'il convient de lever dans la suite immédiate des travaux.

Tableau 2. Paramètres nécessaires au fonctionnement actuel du prototype AGRIPOL

	Régions	Productions	Feed	Paquets	Total	Actuel	Commentaires
Maximisation revenu					15 040	315	
Prix	40	8	-	-	320	8	Image (17 régions)
Rendement	40	8	4	4	5120	204	
Variance rendement	40	8	4	4	5120	48	
Aversion au risque	40	8	-	-	320	0	
Coûts opérationnels	40	8	-	4	1280	20	
Coûts structurels	40	8	-	4	1280	20	
Revenus additionnels	40	8	-	4	1280	12	
Subventions	40	8	-	-	320	3	
Quantification émissions					3 840	16	
Emissions CH4	40	8	-	4	1280	12	
Emissions N2O	40	8	-	4	1280	4	
Emissions CO2	40	8	-	4	1280	0	
Contraintes					1 400	516	
Surfaces arables	40	-	-	-	40	40	Image (17 régions), Fao
Surface déforestées	40	-	-	-	40	40	Image (17 régions), Fao
Surface jachères incorporées	40	-	-	-	40	40	Image (17 régions), Fao
Output	40	8	-	-	320	320	Image (17 régions), Fao
Surface par animal	40	2	-	4	320	8	
Fourrage par animal	40	2	-	4	320	34	Image (17 régions)
Grains par animal	40	2	-	4	320	34	Image (17 régions)
TOTAL					20 280	847	

33. D'autres difficultés à surmonter

331. Produits et catégories de produits

AGRIPOL fonctionne pour l'instant avec des catégories très agrégées de productions, comme celle des « oléagineux et légumineuses ». Cette agrégation pose au moins deux problèmes :

- le recouvrement de ces catégories avec celles utilisées pour étendre de 17 à 40 régions les données d'IMAGE ;
- le recueil des variables techniques (rendements, besoins en intrants...) et économiques (coûts fixes et variables, prix de vente, subventions...) relatives aux quatre itinéraires techniques envisagés pour chacune de ces catégories.

Ce dernier point est assurément le plus délicat puisqu'il creuse l'abysse des données qu'AGRIPOL aurait besoin pour fonctionner correctement : la catégorie « oléagineux et légumineuses » n'existe en effet qu'en théorie ; sur le terrain, on n'observe et ne récolte des données technico-économiques que, par exemple, pour le tournesol, le colza, le lin et bien d'autres oléagineux dont la valorisation de l'huile et des tourteaux peut par ailleurs être très contrastée. Ceci sans compter les légumineuses (soja, arachide, pois, lentilles...) qui non

seulement ne fournissent pas systématiquement de tourteaux (pois et lentilles par exemple), mais dont la culture produit, toutes choses égales par ailleurs, plus de protoxyde d'azote⁹. Autant d'oléoprotéagineux pour lesquels il faudrait chaque fois obtenir des données (suivant quatre itinéraires techniques) avant de calculer une moyenne pondérée par leur importance (en surface ou en tonnage, autre question) dans la zone considérée.

La voie explorée ci-après (§ 4) devrait lever la plupart de ces difficultés puisqu'elle écarte d'emblée de fonctionner avec ces catégories agrégées. Il faudra par contre et alors choisir par région la ou les productions qui représenteront le mieux les catégories d'IMAGE : des *proxies* somme toute moins compliqués et aussi pertinents que ceux initialement envisagés.

332. Aversion au risque et calibrage du modèle

AGRIPOL se singularise dans sa modélisation en intégrant l'aversion au risque des producteurs, une variable aussi fondamentale qu'absente dans la très grande majorité des représentations du secteur agricole. On peut cependant s'interroger sur la justesse de cette modélisation¹⁰ puisque les coefficients α d'aversion au risque (compris entre 0 et 1) sont en réalité ici choisis pour caler, par région et année considérées, et avant l'introduction d'un tarif sur le carbone, les surfaces des diverses productions d'AGRIPOL sur celles d'IMAGE. Cela est bien pratique mais peu convainquant puisqu'on obtient des coefficients qui varient non seulement dans le temps, mais aussi et surtout par production, et ceci d'une façon a priori importante. Dans des simulations effectuées pour les États-Unis par exemple, l'aversion au risque obtenue pour le producteur de viande est de 0,5 en 1995 (0,00003 en 2010) contre 0,000005 pour un producteur de lait (même valeur en 2010). L'attitude vis-à-vis du risque serait-elle si contrastée d'une activité à l'autre ? On peut en douter, mais quel indicateur extérieur permet par ailleurs de chiffrer ou vérifier ces coefficients ? La question reste posée d'autant plus que les résultats (montants des revenus) s'avèreraient particulièrement sensibles à la valeur de ces coefficients α , et comme nous l'avons rapidement testé avec le même jeu de données. Enfin, et à quelques exceptions près, la valeur extrêmement faible prise pour l'instant par la plupart des coefficients (aux États-Unis comme ailleurs) peut pousser à conclure que les agriculteurs n'ont en réalité qu'une aversion très limitée au risque, et donc que sa prise en compte n'est finalement guère pertinente d'autant plus qu'elle impose la résolution d'une équation non linéaire. Ajoutons cependant que le risque et son aversion dont on « mesure » ici le coût, ne sont aucunement liés aux variations de prix (ces derniers demeurent constants de 1995 à 2030), mais aux variations de rendement d'une production et d'un itinéraire technique à l'autre.

En fait, on peut se demander si interpréter le coefficient alpha comme un coefficient de l'aversion au risque, n'est pas abusif. Ce coefficient alpha est un modèle à trouver des valeurs réalistes, ce qui ne serait pas possible en laissant s'opérer une optimisation de premier rang sans contrainte. Cette procédure devra être simplifiée ne serait-ce que pour éviter d'avoir à renseigner dans les données un coefficient de variation des rendements dont la valeur par paquet technique ne peut qu'être supposée.

333. Organisation et gestion des données

Enfin, AGRIPOL est dans sa configuration initiale un programme sous GAMS d'environ 1 600 lignes qui mobilise les données enregistrées sous 16 fichiers de base élaborés sous Excel :

⁹ ce sont des légumineuses qui captent de l'azote atmosphérique par leurs nodules racinaires

¹⁰ Outre le fait qu'il faut appliquer la formule $-\frac{1}{2} \alpha (\sigma_{ij} P_i X_{ij})^2$ et non $-\frac{1}{2} \alpha (\sigma_{ij} RDT_{ij} P_i X_{ij})^2$ comme on l'a trouvé dans le code d'AGRIPOL.

- *Image95.xls*, *Image00.xls*, *Image10.xls* et *Image30.xls* « *Image.xls* » qui réunissent chacun sur 12 feuilles les diverses données brutes d'IMAGE et de la FAO, ainsi que les tableaux qui en découlent et qui seront ensuite mobilisés par année considérée ;
- *Tech95.xls*, *Tech00.xls*, *Tech10.xls* et *Tech30.xls* qui, chacun sur 40 feuilles (les 40 régions) contenant elles-mêmes 8 tableaux pour les 8 productions actuellement considérées, listent l'intensité d'utilisation des 7 ressources prises en compte (terre, capital, main d'œuvre qualifiée ou non, intrants) pour chacun des 4 paquets technique ;
- *Co&rev95.xls*, *Co&rev00.xls*, *Co&rev10.xls*, *Co&rev30.xls* qui comptent chacun 48 feuilles, dont 40 (pour les 40 régions) contenant chacune 7 tableaux (productions en ligne et paquets techniques en colonne) relatifs aux divers composantes d'élaboration du revenu (coûts fixes et variables, rendement et variation, revenus additionnels et subventions, consommation en énergie) ;
- *GHGem95.xls*, *GHGem00.xls*, *GHGem10.xls*, *GHGem30.xls* qui comptent chacun 42 feuilles, dont 40 par régions contenant chacune 3 tableaux relatifs à l'émission en CO₂, CH₄ et N₂O des 4 paquets techniques (colonnes) de chacune des production (lignes).

Ainsi en arrive-t-on, pour chaque année où s'effectue la modélisation, à mobiliser des données issues de 742 tableaux répartis dans 142 feuilles elles-mêmes éclatées dans 4 fichiers Excel. Cette organisation, outre sa nébulosité pour tout utilisateur potentiel d'AGRIPOL, ne facilite ni l'entrée et l'actualisation des données, ni leur consultation et la vérification de leur cohérence, ni leur extraction et utilisation ultérieures. Cette gestion éclatée des données multiplie également grandement les lignes de code nécessaires pour l'extraction et la manipulation de ces données sous Gams.

Ces données ont depuis été réorganisées en une seule matrice de 848 lignes et 57 colonnes (dont 40 pour les régions) : le code d'AGRIPOL devra être réécrit en fonction, et en tenant également compte des restructurations plus fondamentales envisagées ci-après.

4. Des propositions de consolidation

Après avoir exposé les résultats du modèle AGRIPOL pour l'Europe des Quinze, puis les difficultés rencontrées pour améliorer sensiblement la fiabilité de ces résultats, cette dernière partie s'attache à proposer la mise en place d'un outil qui, couplé à AGRIPOL, devrait permettre à ce dernier de fonctionner sur des bases plus établies.

Ce nouvel outil peut être baptisé « AGROPOL », et servirait avant tout à collecter et générer des données pour AGRIPOL puisque son objectif général serait d'évaluer d'une façon standardisée les coûts et les externalités environnementales de conduites techniques actuelles ou potentielles. Sa mise au point sous Access¹¹ nécessiterait plusieurs mois de travail, de même que l'obtention de premières données¹².

¹¹ L'utilisation d'un gestionnaire de base de données tel qu'*Access* permet l'enregistrement et le contrôle rigoureux de données renseignées par soi-même ou par des tiers ; *Access* présente par ailleurs l'avantage particulier d'être désormais installé sur la plupart des environnements informatiques, ou encore de pouvoir fonctionner sur le web.

¹² Après enquêtes sur le terrain, ou consultation d'experts agricoles, ou obtention de bases de données suffisamment détaillées au plan technique, ou encore mise en ligne du formulaire de saisie (dans ce dernier cas, l'opérateur ne trouvera un intérêt à l'exercice que s'il obtient en retour un bilan environnemental des conduites techniques qu'il aura décrites).

41. Fonctions attendues du nouvel outil

Cinq grandes fonctions ont été identifiées pour ce nouvel outil baptisé « AGROPOL ».

(1) Référencement et saisie de conduites techniques

L'instrument doit tout d'abord et avant tout permettre de référencer puis d'enregistrer :

- les grandes caractéristiques d'un contexte agro-économique où ont lieu des activités de production (pays et archétypes de climat, de sol, d'altitude, de taille d'exploitation...),
- les types et les volumes de facteurs (équipements, travail humain et animal, intrants) associés simultanément à une conduite technique (description d'une séquence d'opérations sur quelques mois ou plusieurs années) et à ses rendements (volumes de produits et co-produits d'une monoculture, de cultures associées, d'une rotation de cultures, d'un atelier d'élevage, etc.).

Cette saisie d'informations doit être suffisamment précise pour permettre partout dans le monde les diverses estimations envisagées par la suite, mais aussi suffisamment simple et condensée pour d'une part s'adapter à des langages et connaissances mobilisables (agriculteurs, experts, observatoires...), pour d'autre part réduire au strict nécessaire les temps d'enregistrement.

(2) Évaluation standardisée des coûts et des marges

En employant chaque fois les mêmes formules, l'outil doit ensuite permettre d'évaluer, sur la base des volumes de facteurs et de produits précédemment renseignés, et avec le concours de base de données complémentaires comme TRAME (BCMA, 2004) :

- les coûts fixes (amortissement, intérêt sur valeur résiduelle du capital immobilisé, taxes, assurances, remisage),
- les coûts variables (travail humain et animal, semences ou plants, fumures organiques, engrais chimiques, produits phytosanitaires, irrigation, carburant et électricité, réparations et maintenance)
- et les marges (brutes, nettes...) de diverses conduites techniques.

Cette évaluation mobilisera des prix unitaires renseignés soit au moment de la saisie, soit par le modélisateur (utilisation de bases de données extérieures propres ou non au pays considéré). Dans tous les cas, il doit impérativement être possible de réévaluer coûts et revenus d'un paquet technique après changement ou évolution d'un paramètre économique important (prix de l'énergie, prix d'une matière première, taux de salaire, taux d'intérêt, etc.).

(3) Interfaçage avec des modèles biologiques ou biophysiques

A partir de quelques cas observés dans la réalité, il est possible de recourir à des modèles biologiques ou biophysiques pour obtenir des données qu'on ne pourrait obtenir autrement (une conduite technique possible n'est pas pour l'heure observable dans un contexte agro-économique particulier), ou tout simplement pour éviter un abyssal temps de collecte des multiples variantes de production de telle ou telle denrée. L'instrument doit donc aussi offrir la possibilité :

- de nourrir des modèles biophysiques comme EPIC¹³ qui, pour les cultures, permet de re-estimer les rendements après changements de divers paramètres (type de climat ou de sol, niveau de fertilisation azotée ou d'irrigation, labour ou non-labour, rotations...);

¹³ Le modèle EPIC fut initialement développé dans les années 1980 aux États-Unis pour évaluer l'effet de l'érosion des sols sur la productivité de la terre (*Erosion-Productivity Impact Calculator*). Il fut ensuite étendu pour simuler l'effet de diverses pratiques sur la production agricole et les ressources naturelles, y compris au plan climatique. Fonctionnant à une échelle où le climat, le type de sol et les pratiques peuvent être considérés

- de recalculer les coûts et marges de ces paquets techniques plus ou moins virtuels.

(4) Évaluation standardisée d'externalités environnementales

La fonction la plus originale et la plus complexe de l'instrument devra être d'évaluer suivant des méthodes reconnues et relativement peu gourmandes en données (méthodes tier1 et/ou tier2 du GIEC pour l'émission/stockage de GES) (IPCC, 1996, 2001, 2003a, b) (Freibauer, 2003) les externalités de paquets techniques agricoles ou forestiers (émissions/stockage de C, CO₂, CH₄ et N₂O en ce qui concerne le changement climatique)¹⁴. Cette évaluation sera a priori moins précise que celle permise par les modèles biophysiques développés dans tel ou tel pays, mais sera par contre plus rapide, plus universelle et aussi plus conforme aux méthodes actuellement utilisées pour des estimations faites aux échelles nationales (inventaires nationaux pour les GES). L'important dans tous les cas sera de pouvoir préciser autant que possible la plage d'incertitude qui entoura les résultats (utilisation des coefficients d'émission par défaut du GIEC, mais aussi des valeurs minimum et maximum qu'il indique).

(5) Interfaçage avec des modèles économiques

L'instrument doit enfin et à terme permettre d'identifier, pour une production, des paquets techniques particulièrement contrastés en termes de coûts et d'externalités, puis d'effectuer avec eux diverses simulations dans une région donnée, à travers AGRIPOL ou des modèles économiques plus sophistiqués : PRIMES, GEM-E3 ou encore IMACLIM-R (modèles multisectoriels en équilibre général), EUFASOM (modèle sectoriel en équilibre partiel dynamique), AROPAJ (modèle sectoriel statiques), etc.

42. Atouts et limites du nouvel outil

L'instrument présentera d'indéniables atouts dans la mesure où il permettra :

- (1) la collecte et la centralisation d'une information pour l'instant très dispersée, et donc la constitution progressive et à l'échelle mondiale d'une base de données unique sur les techniques agricoles et leurs résultats ;
- (2) la transformation d'informations très contextuelles (exploitation agricole, environnement prix, etc.) en matrices exploitables par des modèles travaillant à des échelles beaucoup plus agrégées et sur les pas de temps bien différents ;
- (3) la simulation, par l'homogénéisation de divers paramètres (prix des facteurs, des produits ou co-produits ; taux d'intérêt ou d'actualisation ; taux de conversion techniques...), l'intérêt productif (biomasse), économique (revenu), social (emploi) et environnemental (GES, eau...) de diverses productions et de diverses techniques pour les produire, aujourd'hui ou demain, ici ou là dans le monde ;

comme homogène (généralement parcelles ou exploitations ne dépassant pas 100 ha), il inclut divers modules : climat, hydrologie, érosion-sédimentation, cycle des nutriments, protection phytosanitaire, croissance des plantes, température du sol, labour, économie... Une version plus spécifique aux contextes européens est actuellement en cours de développement dans le cadre du projet INSEA (*Integrated Sink Enhancement Assessment* : http://www.iiasa.ac.at/collections/IIASA_Research/Research/FOR/INSEA/Presentations.html).

¹⁴ L'exercice peut porter dans un premier temps sur les émissions classées par le GIEC dans « Agriculture » et « Changement d'occupation des terres ». Mais il peut s'étendre dans un second temps aux émissions dites « indirectes » : émissions dues aux énergies fossiles consommées sur la ferme (engins mobiles, irrigation, séchage, réfrigération...), mais aussi émissions de CO₂ ou d'autres GES (NH₃ par exemple) pour la fabrication et la livraison d'intrants (engrais, pesticides, semences...), d'équipements, ou encore de bâtiments. L'intégration de ces émissions indirectes et leur mode d'estimation peuvent considérablement modifier l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) des produits agricoles, comme on le constate par exemple pour des biocarburants comme l'éthanol de maïs (Pimentel, 2003, Shapouri, 2003), ce qui peut conduire à de très vives controverses politiques (Johnson et Libecap, 2000). AGRIPOL pourrait à ce niveau grandement aider à clarifier de tels débats.

(4) la simulation des revenus face à une augmentation du prix de l'énergie qui impacte les charges en motorisation (carburants et/ou électricité) et en certains intrants (engrais chimiques par exemple) et, plus généralement, la fourniture d'éléments manquants à de nombreuses analyses de cycle de vie de produits agricoles ou forestiers ;

(5) l'évaluation d'externalités environnementales (émission/stockage de GES en particulier) par des méthodes beaucoup moins gourmandes en données que les modèles biophysiques existants, pour des résultats peut-être aussi pertinents (à vérifier), en tout cas beaucoup plus fins que les estimations actuellement faites à l'échelle des grandes régions (bilans annuels nationaux des GES agricoles).

Les outputs de l'outil seront donc à la fois plus limités et plus étendus que ceux obtenus par ces « générateurs de budget » (*Budget Generators*) plus ou moins sophistiqués qui se sont développés pour l'agriculture aux États-unis¹⁵ et plus rarement dans le reste du monde : SIMEQ en France par l'Institut du Végétal Arvalis, SILAS en Suisse par Malitius et Mack (Fischer, 1999), TECHNOGIN pour l'Asie de l'Est et du Sud-est par Ponsioen et al. (2003), BEE par l'Université Agricole d'Athènes pour les bioénergies (www.adira.gr/Bee_web/index.asp), ou encore OLYMPE par l'Inra et le Cirad (<http://www.grignon.inra.fr/economie-publique/olymppe/olymppe.htm>).

Cet outil restera néanmoins un « modèle-ingénieur » qui n'intégrera et ne modélisera par exemple pas les jeux de l'offre et de la demande. S'il permettra de faire des simulations pour nourrir divers analyses ou modèles, il n'intégrera pas non plus un module d'optimisation sous contraintes même si cela est parfaitement envisageable à terme. L'intérêt de l'instrument repose par ailleurs soit sur le nombre et la variété des conduites techniques enregistrées, soit sur un modèle biophysique comme EPIC qui permet de générer ce nombre et cette variété à partir de quelques cas enregistrés. Si l'un ou l'autre n'est pas au rendez-vous, l'identification de paquets techniques contrastés en terme de coûts et d'externalités sera difficile, et réduira d'autant l'intérêt des analyses ultérieures, notamment sur le long terme (prospective des futurs possibles).

Une ébauche de configuration des écrans de saisie pour Agropol est présentée en Annexe 3, ébauche pour l'instant essentiellement pensée pour les productions végétales.

¹⁵ ISFM par l'USDA (Rotz et Coiner, 2005), CARE par Christensen et al. ; OKBUDS par Doye ; BUDPRO par Bevers, TRONSTAD par l'Université d'Arizona ; PLANETOR par Hawkins et al. ; MACHSEL par Kletke and Sestak, ABS par Slinsky et Tiller (Slinsky et Tiller, 1999)...

ANNEXE 1. Caractérisation des paquets techniques dans Agripol

Source : Deybe et Fallot (2002: Annexe B)

Table A – Definition of techniques for livestock activities

LIVESTOCK	Traditional					Improved					Intensive					Optimal
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
the animal																
breeding					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
high genetic merit cow							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
younger slaughter														x	x	x
the feed																
concentrates (silage)			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
concentrates (grains)				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
NSC									x	x	x	x	x	x	x	x
extra fat						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
propionate precursors												x	x	x	x	x
the feeding																
increased feed intake		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
in feedlots (≠ outdoor only)					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
optimal level of intake										x	x	x	x	x	x	x
physical treatment of feed								x	x	x	x	x	x	x	x	x
chemical treatment											x	x	x	x	x	x
manure handling																
manure indoor						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
manure removed from stable										x	x	x	x	x	x	x
manure removed and stored in cool														x	x	x
manure valorisation																
manure handled to fertilize fields					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
manure in farmscale biodigester													x	x		
manure in centralised biodigester															x	x

Table B– Definition of techniques for rice cultivation

RICE CULTIVATION	Basic		Improved				Advanced			Optimal
	1	2	1	2	3	4	1	2	3	
water regime										
non-irrigated ¹	×	×								
irrigated continuously flooded ²					×	×				
irrigated with drainage (irrigated) ²							×	×	×	×
deep water ³			×	×						
fertilisation practice										
organic matter	×									
optimised organic amendment ⁴		×	×		×		×			
mineral fertilizer (urea, ...)				×		×	×	×	×	×
sulfate-containing fertilizer										×
rice cultivar										
unspecified cultivar	×	×	×	×	×	×				
low CH ₄ emitting cultivar							×	×	×	×
cultural practice										
transplanting	×	×	×	×	×	×				
direct seeding							×	×	×	×
wet tillage					×	×	×	×		

Table C– Definition of techniques for fertilised crops

FERTILISED CROPS	Traditional					Improved					Intensive					Optimal
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
precision farming																
enhanced spreader maintenance ¹⁶		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
optimised distribution geometry								x	x				x			
site specific application										x	x	x		x	x	x
matching N to needs																
soil testing							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
allowing for manure N + residual N													x	x	x	x
tools to measure N status of crop												x	x	x	x	x
targeted use of fertilisers																
split application			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
controlled release fertilisers																x
nitrification inhibitors																x
fertiliser form ¹⁷									x	x	x	x				
slurry injection										x	x	x	x	x	x	
foliar application											x	x				
other																
fertiliser free zone					x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	
minimise fallow periods						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
water management				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

¹⁶ reduce kgN/ha/yr by 15% for grass, 15% for maize

¹⁷ liquid or powder

Table D– Definition of techniques for new pastures

PASTURE	Traditional					Improved					Intensive					Optimal
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
pasture type																
deep-rooted herbs		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
optimised distribution geometry			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
precision farming																
enhanced spreader maintenance ¹⁸						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
optimised distribution geometry			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
site specific application														x		
matching N to needs																
soil testing						x		x	x	x	x	x	x	x		
tighten N flow cycle ¹⁹						x										
crop tools to measure their N status															x	
targeted use of fertilisers																
split application									x							
controlled release fertilisers										x						
nitrification inhibitors												x	x	x	x	
fertiliser form											x	x	x	x	x	
other																
increase in the cutting frequency					x	x	x	x	x	x	x					
fertiliser free zone				x	x	x	x	x	x	x	x					

¹⁸ Reduce kgN/ha/yr by 15% for grass, 15% for maize¹⁹ Manure reuse in plant production, plant residue N (crop residues) maintained on production site

ANNEXE 2. Réflexions additionnelles sur Agripol et les typologies des conduites technico-économiques

Par rapport aux travaux existants, l'enjeu et l'originalité d'AGRIPOL est de proposer une modélisation technico-économique des agricultures de la planète. A l'échelle de travail que cela implique (au mieux la nation), toute la difficulté de l'exercice réside dans l'identification et la description de quelques grands types de conduite technico-économique reflétant non seulement les grandes options actuelles de production d'une denrée dans une régions donnée, mais aussi celles que l'on peut envisager à l'avenir, notamment après une politique contraignante de réduction des gaz à effet de serre. Ce cahier des charges est suffisamment important, de même que les produits attendus ou possibles (Tableau 3), pour ne pas chercher dans l'immédiat à l'étendre (endogénéisation des prix, etc.).

Tableau 3. Cahier des charges d'AGRIPOL

		Illustrations	Commentaires
INPUTS			
1	Volumes régionaux de production	Céréales ; Oléo-protéagineux ; Racines et tubercules...	Actuels (Fao, Eurostat...) et/ou simulés par modèles (SRES/Image, etc.) ou objectifs politiques
2	Prix régionaux à la production	Blé tendre ; Blé dur ; Riz ; Soja ; Colza... Biocarburants ; Bois d'œuvre...	Actuels (Fao, Rica...) ou simulés par modèles
3	Contraintes régionales sur les facteurs	Terre ; Eau ; Travail ; Capital ; Intrants industriels...	Image en fournies mais d'une façon très limitée (terre essentiellement)
4	Nature de la politique environnementale	Tarification du carbone ; Subvention à la séquestration ; Contingentement...	Éventail d'options à connaître pour les simulations
MODELISATION TECHNICO-ECONOMIQUE			
1	Adoption de techniques « certaines » sans perturbation importante du système d'exploitation agricole (SEA)	Semis direct ; Agriculture raisonnée ; Augmentation digestibilité aliments...	Ce que modélise la plupart des modèles actuels
2	Adoption de techniques « incertaines » sans perturbation importante du SEA	OGM...	Information absente ou insuffisante (progrès technique à venir, acceptabilité politique...)
3	Adoption de techniques « restructurantes »	SCV ; Agroforesterie, Diversification...	Changement de « farm-type » (SEA)
4	Production de biocarburants		Avec ou sans changement de « farm-type »
5	Afforestation	Sanctuarisation ; Production de bois de chauffe, pâte à papier, bois d'œuvre...	Avec ou sans changement de « farm-type »
OUTPUTS			
1	Changement d'occupation des terres	-	Sous les contraintes exogènes de volumes et de prix spécifiées plus haut
2	Bilan carbone détaillé	C, CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Prise en compte éventuelle des émissions/séquestrations indirectes (agro-industrie, transports, etc.)
3	Fourniture de courbes MAC pour l'agriculture	Prix du carbone x volume de GES abattus	Pour alimenter d'autres modèles (Poles, Gem3...)
4	Appréciation d'autres externalités environnementales	Érosion ; Biodiversité ; Pollution...	Indicateurs (« notes » de tendance)
5	Test de crédibilité des « inputs » (projections de quantité et prix), d'hypothèses sous-jacentes aux modèles	Conditions technico-économiques ; Emploi agricole ; Occupation du territoire...	
6	Simulations diverses après desserrement ou resserrement de contraintes	-	Interface « User-friendly » à prévoir pour le décideur politique

Dans ce cadre de travail, la première question à se poser est de savoir s'il est possible de prédéfinir des archétypes de conduite technico-économiques qui présentent d'une part des perspectives de pouvoir être renseignés en données quelque soient la production et la région considérées, et dont les résultats soient d'autre part suffisamment contrastés en terme de rendement et d'émission pour que le modèle présente un intérêt. L'exposé dans ce rapport de toutes les limites de la typologie initialement imaginée pour AGRIPOL (Tableau 4) apporte une réponse plus que circonspecte, réponse confortée par les réflexions exposées ci-après. La

solution au problème résiderait donc plutôt dans le renversement de la démarche, à savoir la constitution préalable d'une base données sur les grandes conduites techniques actuelles et potentielles, puis le calcul standardisé de leurs coûts et émissions, enfin la sélection de quelques cas jugés les plus intéressants pour le modèle.

Tableau 4. Typologie "Agripol 1"

	Basic <i>Basic</i>	Amélioré <i>Improved</i>	Avancé <i>Advanced</i>	Optimum <i>Optimum</i>
Utilisations de techniques limitant l'émission de GES	+/-	+	++	+++
Rendement	+	++	+++	++++
Coûts (fixes et variables)	+	++	+++	++++
Consommation énergie fossile	+	++	+++	++++
Emissions de GES	+	++	+++	++ ou +++
Variance Rendement	++++	+++	++	+
France	?	?	?	?
Inde	?	?	?	?
Autres	?	?	?	?

Typologie « Carpy-Goulard »

Tableau 5. Typologie "Carpy-Goulard"

Source : Carpy-Goulard (2001: 189)

	CONVENTIONNEL	RAISONNE	INTEGRE
	Itinéraire classique ou usuel	Justification de chaque intervention	Complémentarité et régulation naturelle
Rendement	Objectif	Objectif	Moins de 5% en moyenne
Façons culturales	Labour ou travail superficiel	Travail superficiel privilégié	Travail superficiel systématisé
Semis	Précoce, forte densité	Précoce, densité moyenne	Tardif, densité moyenne à faible
Gestion de l'azote	Ajustement au bilan + 30 u	Ajustement au bilan	Ajustement au bilan
	Peu de fractionnement	Fractionnement	Fractionnement et/ou localisation
Fumure P et K	Couverture des exportations	Couverture des exportations	Fumure gérée sur rotation
	Impasse fréquente en K2O	Impasse possible en K2O	Impasse possible en K2O
Herbicides	Protection classique ; Choix des intrants en fonction du rapport efficacité/prix	Usage occasionnel de molécules moins persistantes et souvent plus chères ; Zonage	Usage occasionnel de molécules moins persistantes et souvent plus chères ; Zonage
Fongicides	Assurance relative	Plus d'observations mais peu de différence en moyenne	Plus d'observations mais peu de différence en moyenne
Insecticides (sol et foliaire)	Assurance ; Produits peu chers	Observation et intervention chimique	Observation, piégeage ; pu d'intervention chimique
Anti-limaces	Systématique	Zonage	Bordures
Régulateur de croissance	Rarement	Très rarement	Non
Irrigation	« Habitude » et contrainte du tour d'eau	Raisonnement à base du bilan hydrique	Raisonnement à base du bilan hydrique
Observation et outils d'AD	Peu ou pas	Observation ; Outils de pilotage de la fertilisation ; Analyse de sols ; Avertissements agricoles	Observation et piégeage ; Outils de pilotage de la fertilisation ; Analyse de sols ; Avertissements agricoles

La typologie « AGRIPOL 1 » s'inspire à priori de celle développée par le modèle statique d'optimisation de Carpy-Goulard visant à analyser les relations agriculture-environnement dans le secteur des grandes cultures en Midi-Pyrénées (Carpy-Goulard, 2001). On y distingue trois niveaux d'intensification des pratiques au travers des termes « conventionnel », « raisonné » et « intégré ». Le premier qualifie les pratiques de la majeure partie des agriculteurs de la région. Le second représente une gestion plus poussée des intrants grâce à ce que l'on nomme l'ingénierie : respect du code de bonnes pratiques agricoles pour l'azote et les produits phytosanitaires, les décisions étant prises après observation à la parcelle et parfois d'outils d'aide à la décision. Le troisième a été élaboré à dire d'experts et après un certain

nombre d'expérimentations menées localement par les instituts techniques ; il n'est donc pas réellement pratiqué par les agriculteurs. Basé sur une approche globale de l'exploitation, il cherche à remplacer le maximum d'intrants extérieurs par des processus naturels de régulation, de contrôle et de complémentarité. Plus contraignant que la conduite raisonnée, le système intégré s'interdit notamment des rotations culturale « agronomiquement défavorables » pour limiter le plus possible l'usage d'intrants. Les niveaux de productivité y sont généralement inférieurs (Tableau 5). Comme le note Carpy-Goulard, il existe tous les intermédiaires possibles entre ces 3 systèmes de production en grandes cultures, mais il n'en reste pas moins qu'ils possèdent chacun une logique propre. Cette typologie est évidemment très séduisante, mais on mesure ici l'important investissement qu'elle a nécessité pour la renseigner en données à la simple échelle d'une petite région, pour quelques productions, et pour quelques techniques : un même investissement à l'échelle mondiale n'est pas sérieusement envisageable.

Typologie « TAMI »

Il existe de nombreuses descriptions et typologies des systèmes agraires ou modes de productions agricoles, notamment, à l'échelle mondiale, celles de Malassis et Padilla (1986) et de Mazoyer et Roudart (1997). Dans le premier cas, on distingue 4 grands types d'agriculture (« l'agriculture manuelle », « l'agriculture attelée traditionnelle », « l'agriculture attelée mécanisée » et « l'agriculture motorisée »), puis 5 modèles de production agricoles (« Anglo-saxons », « Ouest européens », « Est et méditerranéens européens », « traditionnels » et « traditionnels asiatiques ») en utilisant et combinant deux critères discriminants : la productivité partielle de la terre et la productivité partielle du travail (Malassis et Padilla, 1986: 99, 118). D'une certaine manière, Mazoyer et Roudart décrivent et développent ces typologies dans le temps et dans l'espace, ce qui les conduit notamment à distinguer divers états de « mécanisation » et surtout de « motomécanisation » (5 pour les grandes cultures) à côté des phénomènes de « chimisation » (engrais, produits phytosanitaires) et de sélection (variétés ou races). Ainsi, « de la culture manuelle des céréales à la motomécanisation V, [...] le capital fixe par travailleur passe de quelques centaines de francs à environ 2 millions de francs, et la superficie par travailleur passe de quelques centaines de francs à environ 2 millions. Parallèlement, le rendement moyen des céréales, qui est de l'ordre de 10 quintaux par hectares dans une agriculture manuelle sans engrais, dépasse 50 quintaux par hectare dans une agriculture mécanisée et chimisée » (Mazoyer et Roudart, 1997: 385). Tout ceci peut conduire à penser que deux indicateurs « simples », la productivité partielle de la terre et la productivité partielle du travail, permettent de discriminer relativement bien des modes différenciés de conduites techniques à l'échelle mondiale, et que dans une région donnée, ces deux indicateurs peuvent a priori autant permettre de bien discriminer de grands types locaux de conduite technique. On peut alors envisager d'arrêter, pour chaque production, au moins quatre grands types de conduite technique (Tableau 6), types qui recouperaient évidemment des réalités très différentes d'une région à l'autre en raison des multiples facteurs qui ont conditionné l'orientation des agricultures en question (conditions agro-climatiques, surface disponible par habitant, systèmes de prix induisant ou non des spécialisations, etc.). Ainsi, le type « traditionnel » de conduite technique du blé en France n'aurait par exemple pas grand chose à voir avec celui prévalant en Inde, si ce n'est que tous deux seraient, par rapport aux situations locales, d'une productivité particulièrement faible pour le travail comme pour la terre : production de blé par une exploitation familiale pratiquant l'agriculture biologique ou la polyculture-élevage en zone de montagne par exemple, et, pour l'Inde, production de blé par des basses castes en zones sèches. L'avantage de cette typologie est d'être à la fois

« universelle » et « contextuelle », de recouper des situations assez « parlantes » dans le cas d'une collecte de données sur le terrain ou auprès d'experts, ou bien d'offrir la possibilité d'isoler facilement au sein d'une vaste base statistique les individus qui permettront de caractériser chaque archétype au plan technico-économique (il « suffit » de connaître les rendements et les productions par travailleur). Lorsque l'information est vraiment rare, il est également envisageable de déduire/reconstruire les caractéristiques d'un ou plusieurs types à partir d'une situation observée (ou d'une moyenne générale) et de données plus macro-économiques (prix des intrants, de la main d'œuvre, etc.). Enfin, cette typologie présente l'atout certain de pré-distinguer des conduites techniques à émissions de GES contrastées, puisque le premier facteur discriminant (mécanisation faible ou élevée) mesure plus particulièrement l'intensité d'utilisation du trait animal (pays du Sud) et/ou de l'énergie fossile (pays du Nord), et le second l'intensité d'utilisation de facteurs « artificiels » (engrais azotés, irrigation, concentrés...) qui, pour la plupart, ont un impact significatif (positif ou négatif...) sur l'émission de GES. Ceci n'empêche pas cette typologie de rester très rudimentaire, notamment dans le descriptif de ces facteurs « artificiels ». Surtout, elle n'isole pas les techniques actuelles ou à venir limitant cette émission de GES, ce qui en fait le principal défaut.

Tableau 6. Typologie « TAMI »

	Traditionnel <i>Traditional</i>	Artificialisé <i>Artificialised</i>	Mécanisé <i>Mechanized</i>	Intensifié <i>Intensified</i>
Productivité partielle du travail (production par actif)	Faible	Faible	Elevée	Elevée
Productivité partielle de la terre (production par ha ou par tête)	Faible	Elevée	Faible	Elevée
France	Polyculture- élevage en zone de collines ou de montagne ?	Exploitations familiales spécialisées ?	Agriculture biologique spécialisée ?	Exploitations « industrialisées » en zone de plaine ?
Inde	Productions en zones sèches (non irriguées) ?	Cultures non- irriguées plaine Indo-gangétique et assimilé ?	Polyculture- élevage en zones sèches ?	Cultures irriguées plaine Indo- gangétique et assimilé ?
Brésil				SCV au Mato Grosso ?

Typologie « RICA »

Pour l'Europe des Quinze, la base de données incontestablement la plus représentative des exploitations agricoles est celle du RICA (représentativité d'environ 80% pour les surfaces cultivées, et de 90% pour les volumes produits, les exploitations les plus grandes et celles à temps partiel n'étant pas ou mal prises en compte). Mais celle-ci, soucieuse de rapporter et suivre des résultats économiques d'entreprises, ne décompose pas les charges par produit, et encore moins les volumes physiques de facteurs. Cette présentation statistique a par exemple conduit l'INRA à développer son modèle AROPAJ autour d'une optimisation de marge brute par « ferme type »²⁰, et non par produit comme le fait par contre et par exemple le modèle

²⁰ Le modèle AROPAJ est un modèle statique à prix exogènes qui utilise la programmation linéaire (avec calibrage type Monte-Carlo) en vue de maximiser la marge brute d'un certain nombre d'exploitations européennes « types » identifiées avec la base de données du RICA. Initialement conçu pour évaluer l'impact de mesures de la PAC, il s'étend désormais à la problématique effet de serre (De Cara et al., 2004, De Cara et Jayet, 2000). S'il peut aujourd'hui évaluer relativement finement les émissions des exploitations européennes, il reste

ASMGHG de McCarl & Schneider pour les USA²¹. Si les deux approches ont leur lot d'avantages et de défauts, et même si la première (par « ferme type ») paraît finalement plus « juste » (les agriculteurs produisent généralement plusieurs denrées, et ces productions sont loin d'être indépendantes l'une de l'autre), il semble préférable d'essayer de poursuivre l'approche « produit » initialement adoptée par AGRIPOL puisque à l'échelle internationale, on est beaucoup plus assuré d'obtenir des descriptions technico-économiques et les ordres de grandeur associés (volumes et valeurs) selon ce dernier mode d'expression. D'ailleurs, pour permettre des analyses de productivité ou compétitivité comparées, l'INRA et l'INSEE ont développé un modèle (« COUTPROD ») à équations simultanées permettant, avec les données du RICA, une estimation économétrique par production des divers coûts fixes et variables (Butault *et al.*, 1988, Desbois, 2000, Pollet *et al.*, 2001). Cette typologie « RICA » non transposable telle quelle à l'échelle internationale permet néanmoins de mettre en évidence au moins deux types très contrastés et relativement universels de conduite technico-économique (Tableau 7).

encore très mal outillé pour modéliser les adoptions de techniques alternatives et les changements structurels qu'une politique environnementale forte ne manquerait de susciter au sein des exploitations.

²¹ ASMGHG est un modèle dynamique dont l'horizon de travail est 2100 (Schneider et McCarl, 2003). Les activités de production agricoles sont liées à la fois aux marchés d'inputs et d'outputs. Les produits peuvent être consommés domestiquement (D), acheminés sur d'autres régions des Etats-Unis (U), exportés (X) ou importés (M) de pays (j), transformés (PR), ou encore donnés directement aux animaux. Les productions animales sont équilibrées au niveau national sans considération d'importation ou d'exportation ; les produits transformés peuvent de leur côté être vendus domestiquement, exportés, utilisés comme inputs pour d'autres transformations, ou nourrir les animaux. L'équilibre de marché est calculé en maximisant la somme du surplus des consommateurs sur tous les marchés d'outputs plus celle du surplus des producteurs sur tous les marchés d'inputs. Toutes les courbes d'offre et de demande sont spécifiées comme des fonctions CES d'équilibre partiel. Le choix de productions des agriculteurs est quant à lui contraint de tomber dans une combinaison convexe de choix observés durant une période passée de 28 années (i.e. la part en % des surfaces de chaque culture est bornée dans chaque région ; une option méthodologique supposée ainsi prendre en compte le risque et certaines contraintes naturelles, qui évite aussi d'écrire de nouvelles contraintes pour éviter les spécialisations extrêmes auquel pourrait conduire le modèle). Enfin, la comptabilisation des GES tient théoriquement en compte :

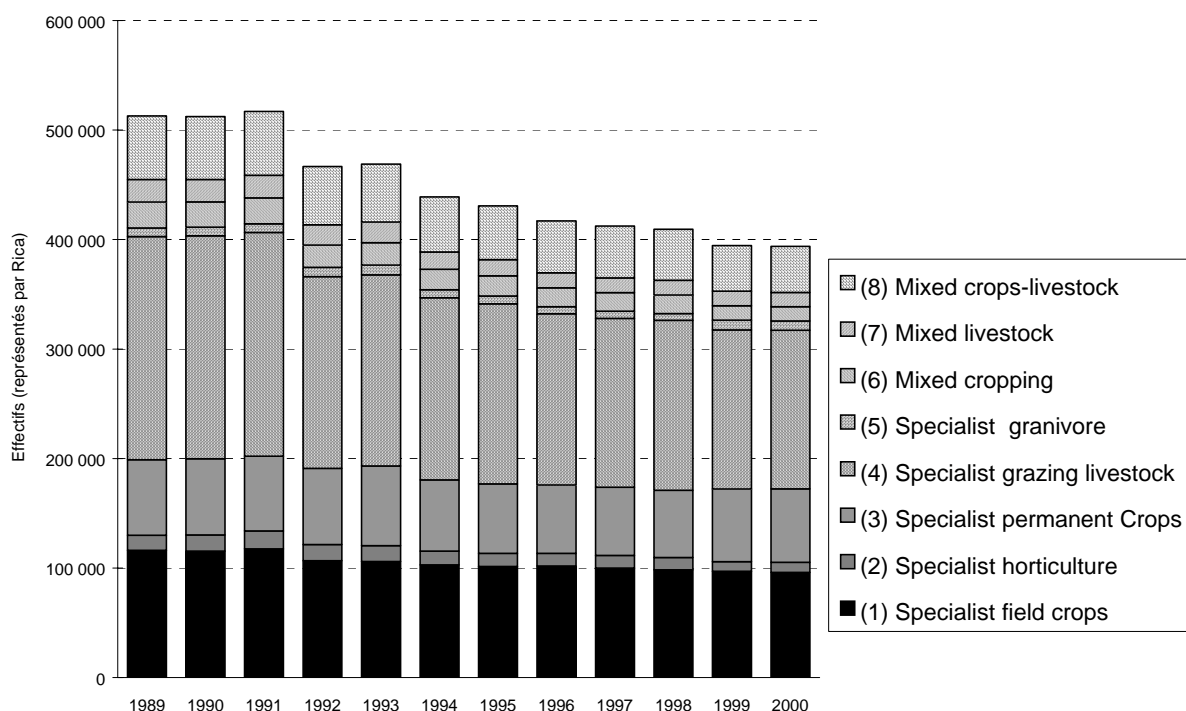
- les émissions directes de carbone par l'utilisation d'énergies fossiles (diesel, essence, gaz naturel, heating oil, liquefied petroleum gas) pour le labour, la récolte, le pompage de l'eau, le séchage des grains, ainsi que par la mise en culture de forêts ou prairies ;
- les émissions indirectes de carbone par l'industrie de fabrication des engrais et des pesticides (Schneider et McCarl, 2004) ;
- les séquestrations de carbone provenant de l'augmentation de la matière organique des sols (par réduction de l'intensité du labour et la conversion de terres cultivées en prairies) et de la plantation d'arbres ;
- l'économie d'énergies fossiles par la production de bio-carburants (éthanol ou MO combustibles : switchgrass, peuplier, saule) ;
- les émissions de protoxyde d'azote par les engrais et les déjections animales ;
- les émissions de méthane par la fermentation entérique, les déjections animales et la riziculture ;
- les réductions d'émission de méthane issues de changements de techniques de production ;
- les réductions d'émissions de méthane et de protoxyde d'azote issues de changements dans les usines de bio-énergie.

La partie relative aux émissions/alternatives pour les productions animales est en réalité l'objet d'un développement séparé et plus récent (Johnson *et al.*, 2003a, b).

Tableau 7. Typologie "RICA"

	Spécialisé <i>Specialised</i>	Polyculture / Polyélevage <i>Mixed crops / Mixed livestock</i>	Polyculture-élevage <i>Mixed crops-livestock</i>
RICA (Eu15)	MBS*P _{Grandes cultures} ou MBS*P _{Horticulture} ou MBS*P _{Cultures permanentes} ou MBS*P _{Herbivores} ou MBS*P _{Granivores} $> 2/3 \sum MBS_i P_i$	Exploitations non-spécialisées mais limitées à des productions végétales ou bien à des productions animales	Exploitations n'appartenant pas aux catégories précédentes
France (2000)	83%	7%	11%
Inde	?	?	?
Brésil	?	?	?
Caractéristiques et règles de conduite présumées	<ul style="list-style-type: none"> - Exploitations de grande taille => importance du capital humain, physique et financier - Moindre aversion au risque - Spécialisés élevage achètent en totalité les aliments pour animaux - Spécialisés cultures achètent en totalité les fertilisants ; peu de fumure organique - .../... 	?	<ul style="list-style-type: none"> - Exploitations de petites taille => importance du capital social et naturel - Plus grande aversion au risque - Alimentation animale assurée par production in situ - fertilisation en partie assurée par déjections animales - .../...

Tableau 8. Répartition par OTE des exploitations françaises du RICA (1989-2000)



Typologie « FAO »

La FAO et la Banque Mondiale, à travers Dixon *et al.* (2001a, 2001b), se sont exercées à répartir, dans chacune des six grandes régions du monde qu'ils considèrent, les surfaces et

populations agricoles en grandes catégories de systèmes d'exploitation agricole (Tableau 9). Cette classification se base sur :

- la disponibilité en ressources naturelles de base (eau, terre, parcours, forêts), le climat (pour lequel l'altitude est un facteur déterminant) ; la topographie (comprenant les pentes) ; la taille des exploitations, le régime foncier et l'organisation ;
- le modèle dominant des activités agricoles et de subsistance des ménages (cultures en champ, élevage, arbres, aquaculture, pêche, cueillette, transformation et activités hors exploitation agricole) et les principales technologies utilisées qui déterminent l'intensité de la production et l'intégration des cultures, de l'élevage et des autres activités.

Ceci les conduits à retenir, au niveau global, 8 principales catégories de Systèmes d'Exploitation Agricole (SEA) :

- 1) **SEA irrigués**, recouvrant une large gamme de cultures vivrières et de rente.
- 2) **SEA à base de riz aquatique**, dépendant des pluies de la mousson complémentées par l'irrigation.
- 3) **SEA pluviaux des zones humides à haut potentiel de ressources**, caractérisés par des activités agricoles (surtout les cultures de racines, les céréales et l'arboriculture industrielle – aussi bien dans les plantations que dans les petites exploitations – et l'horticulture commerciale) ou des systèmes mixtes agriculture-élevage.
- 4) **SEA pluviaux des terres en pentes et des hautes terres**, qui sont souvent des systèmes mixtes agriculture-élevage.
- 5) **SEA pluviaux des zones sèches ou froides à faible potentiel**, où des systèmes mixtes agriculture-élevage et pastoraux se mêlent à des systèmes souvent dispersés de très faible productivité présente ou potentielle en raison de l'extrême aridité ou du froid.
- 6) **SEA dualistes** (associant des grandes fermes commerciales et des petits exploitants) dans des écologies variées et avec des modèles de production divers.
- 7) **SEA basés sur la pêche artisanale côtière**, souvent systèmes mixtes.
- 8) **SEA urbains**, typiquement axés sur l'horticulture et l'élevage.

De l'avis de nombreux experts de la FAO, les caractéristiques de ces SEA, leurs performances et leur évolution au cours des trois prochaines décennies seront influencés par cinq grands facteurs biophysiques et socioéconomiques :

- Ressources naturelles et climat ;
- Science et technologie ;
- Libéralisation du commerce et développement des marchés ;
- Politiques, institutions et bien publics ;
- Information et capital humain.

Ces potentielles évolutions sont précisément celles que cherchent à capter AGRIPOL et les modèles qui l'entourent. Figurer dès lors les SEA dans cette actuelle typologie FAO serait donc plus qu'inopportun. Cette typologie permet néanmoins de mesurer la diversité des agricultures du monde et surtout l'importance de la variable « écosystème » autant dans les actuelles conduites technico-économiques que dans leur potentielle évolution, un point qui vient d'être souligné et abondamment illustré par l'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire (MEA, 2005).

Tableau 9. Typologie "FAO"

		Principales cultures annuelles	Principales cultures pérennes ou act. forestières	Prod. animales	Autres revenus	Surf. (%)	Pop. (%)
	Afrique Subsaharienne					101	104
1	Mixte à base maïs	Maize ; Cassava		Cattle	Remittances	10	16
2	Mixte céréales-racines	Maize ; Sorghum ; Cassava ; Yams				13	15
3	Root crop	Yams ; Legumes ; Vegetables		Livestock	Off-farm act.	12	12
4	Agropastoral à base mil/sorgho	Millet ; Sorghum		Livestock	Remittances	8	9
5	Highland temperate	Wheat ; Barley ; Legumes		Livestock	Off-farm act.	2	8
6	Highland perennial	Ensete ; Wheat		Livestock	Off-farm act.	1	8
7	Pastoral			Livestock	Remittances	14	7
8	Forest-based	Tubers	Forest gathering activities			11	7
9	Arboricole	Tubers	Cash tree crops			3	7
10	Large commercial & smallholder	Cereals ; Legumes		Livestock	Remittances	5	5
11	Costal artisanal fishing		Coconut ; Cashew	Fishes		2	3
12	Irrigué	Rice ; Vegetable		Livestock		1	3
13	Sparse (arid)			Livestock	Remittances	18	2
14	Rice-tree crop	Rice ; Roots ; Legume	Banana ; Coffee ; Spices			1	2
15	Urban-based	Horticulture		Livestock		-	-
	Moyen-Orient & Afrique du Nord					100	100
1	Mixte des hautes terres	Cereals ; Legumes		Sheep		7	32
2	Irrigué	Vegetables ; Cash crops	Fruits			2	19
3	Mixte pluvial	Cereals ; Legumes	Tree crops			2	19
4	Mixte des terres sèches	Cereals		Sheep	Remittances	4	15
5	Pastoral	Barley		Sheep ; Goats		23	10
6	Sparse (arid)			Camels ; Sheep		62	5
7	Costal artisanal fishing			Fishes		-	-
8	Urban-based	Horticulture		Poultry		-	-
	Europe de l'Est & Asie Centrale					95	101
1	Mixte	?	?	?	?	4	19
2	Céréales-maraîchage à grande échelle	Cereals ; Vegetable ; ?	?	?	?	4	17
3	Extensif céréales-élevage	Cereals ; ?	?	Livestock	?	18	16
4	Horticulture mixed	Horticulture ; ?	?	?	?	3	12
5	Pastoral	?	?	Livestock	?	3	11
6	Sparse (arid)	?	?	?	?	6	9
7	Forest based livestock	?	Forest ?	Livestock	?	3	6
8	Irrigated	?	?	?	?	1	5
9	Small-scale cereals-vegetable	Cereals ; Vegetable ; ?	?	?	?	1	4
10	Sparse (cold)	?	?	?	?	52	2
11	Urban-based	?	?	?	?	-	-
	Asie du Sud					102	97
1	Riz-blé	Rice ; Wheat ; Vegetables		Livestock	Off-farm act.	19	33
2	Mixte pluvial	Cereals ; Vegetables ; Legumes ; Fodder crops		Livestock		29	30
3	Riz	Rice ; Vegetables ; Legumes			Off-farm act.	7	17
4	Mixte des hautes terres	Cereals ; Horticulture		Livestock	Seas. Migrat.	13	7
5	Dry rainfed	Coarse & irrigated cereals ; Legumes			Off-farm act.	4	4
6	Pastoral			Livestock	Migration	11	3
7	Costal artisanal fishing	Rice ; Legumes	Coconut	Fishes ; Livestock		1	2
8	Sparse (arid)			Livestock		11	1
9	Sparse (mountain)			Livestock		7	0,4
10	Tree crop	Cereals	Tea ; Rubber ; Coconuts		Wage labour	-	-
11	Urban-based	Horticulture		Dairing ; Poultry	Other activ.	-	-
	Asie de l'Est & Pacifique					101	98
1	Riz de basse terre	Rice ; Maize ; Pulses ; Sugarcane ; Oilseeds ; Vegetables		Livestock ; Aquaculture		12	44
2	Intensif des terres moyenne altitude	Rice ; Pulses ; Maize ; Sugarcane ; Oilseeds ; Vegetables	Fruits	Livestock		20	28
3	Mixte tempéré	Wheat ; Maize ; Pulses ; Oil crops	Oil crops	Livestocks		6	14
4	Highland extensive mixed	Rice ; Pulses ; Maize ; Oilseeds	Fruits ; Forest products	Livestock		6	4

5	Arboricole	Rice	Rubber ; Oil palm ; Coconuts ; Coffee ; Tea ; Cocoa ; Spices	Livestock		5	3
6	<i>Sparse (arid)</i>			<i>Grazing</i>		20	2
7	<i>Pastoral</i>	<i>Irrigated crops if possible</i>		<i>Livestock</i>		20	1
8	<i>Sparse (forest)</i>		<i>Gathering</i>	<i>Hunting</i>		11	1
9	<i>Root-tuber</i>	<i>Root crops ; Vegetables</i>	<i>Fruits</i>	<i>Livestock</i>		1	1
10	<i>Costal artisanal fishing</i>	<i>Mixed cropping</i>	<i>Coconut</i>	<i>Fishes</i>		-	-
11	<i>Urban-based</i>	<i>Horticulture</i>		<i>Dairy ; Poultry</i>		-	-
	Amérique Latine & Caraïbes					100	100
1	<i>Coastal plantation and mixed</i>	<i>Export crops ; Tubers</i>	<i>Tree crops</i>	<i>Fishes</i>	<i>Tourism</i>	9	18
2	<i>Maïs-haricot</i>	<i>Maize ; Beans ; Horticulture</i>	<i>Coffee</i>			3	11,5
3	<i>Forest-based</i>		<i>Forest</i>	<i>Cattle</i>		30	9
4	<i>Mixte des terres sèches</i>	<i>Maize ; Cassava</i>		<i>Livestock</i>	<i>Labour</i>	6	9
5	<i>Intensive mixed</i>	<i>Horticulture</i>	<i>Coffee ; Fruit</i>			4	9
6	<i>Mixte extensif</i>	<i>Oilseeds ; Grains</i>	<i>Coffee</i>	<i>Livestock</i>		11	8,5
7	<i>Irrigated</i>	<i>Horticulture</i>	<i>Fruit</i>	<i>Cattle</i>		9	8
8	<i>Cereal-livestock</i>	<i>Rice</i>		<i>Livestock</i>		5	6,5
9	<i>Temperate mixed</i>	<i>Wheat ; Soyabean</i>		<i>Livestock</i>		5	6
10	<i>Mixte de haute altitude</i>	<i>Tubers ; Grains ; Vegetables</i>		<i>Sheep ; Llama</i>		5	5,5
11	<i>Intensive highlands mixed</i>	<i>Vegetable ; Maize ; Cereals ; Potatoes</i>	<i>Coffee</i>	<i>Cattle ; Pigs</i>		2	3,5
12	<i>Mediterranean mixed</i>	<i>Wheat ; Horticulture</i>	<i>Olives ; Fruits</i>			2	2
13	<i>Extensive dryland mixed</i>	<i>Cotton ; subsistence crops</i>		<i>Livestock</i>		3	1,5
14	<i>Pastoral</i>			<i>Sheep ; Cattle</i>		3	1
15	<i>Sparse (forest)</i>		<i>Forest</i>	<i>Sheep ; Cattle</i>	<i>Tourism</i>	3	1

ANNEXE 3. Ébauche de configuration des écrans de saisie pour Agropol

Masque 1 : "Partenaires"

Rubriques	Variables	Modalités prédéfinies	Caractère	Commentaires
Opérateur de saisie	Nom ; Prénom ; Tel ; Email...	-	Obligatoire	Assurer la traçabilité des données et faciliter leur actualisation
Organisation affiliée	Nom ; Acronyme ; Page web ; Tel...	-	Facultatif	Reconnaître et responsabiliser les fournisseurs de données
Date d'enregistrement	-	-	Automatique	Assurer la confidentialité des données si exigé

Masque 2 : "Biblio"

Rubriques	Variables	Modalités prédéfinies	Caractère	Commentaires
Bibliographie	Références complète ; Abréviation ; Année	-	Facultatif	Assurer la traçabilité des données Elaborer une base de données bibliographique sur les technologies agricoles

Masque 3 : "Contexte"

Rubriques	Variables	Modalités prédéfinies	Caractère	Commentaires
Spécification	Nom partenaire	Cf masque 1	Obligatoire	
Nom du contexte	Nom	-	Obligatoire	Pour identification dans autres masques de saisie ; Ex. "FermArvalis Boigneville"
Région	Région ; Mémo	226 pays	Obligatoire	Identification de l'environnement socio-économique
Climat	Climat ; Mémo	8 types	Obligatoire	cf. IPCC 2003 ; Pour calcul ultérieur de Csol
Sol	Sol (1)	6 grands types	Obligatoire	cf. IPCC 2003 ; Pour calcul ultérieur de Csol
	Sol (2)	34 types	Facultatif	cf. IPCC 2003 (Classification WRB et USDA)
	Altitude	3 types (0-300m...)	Obligatoire	Limiter le choix ultérieur de techniques dans certains contextes (on irrigue par exemple difficilement un terrain en pente ou en haute altitude)
	Pente	3 types (plat, colineux...)	Obligatoire	
Exploitation	Mémo		Facultatif	Précisions encouragées (format texte)
	Unité de surface	5 unités (ha, acre...)	Obligatoire	Unité systématiquement utilisée par la suite dans les masques de saisie
	Surface cultivée		Obligatoire	Proxy des capacités économiques de l'exploitation dans le pays considéré
	Pourcentage occupé par arbres/haies		Facultatif	Valeur par défaut : "0"
Biblio	Mémo		Facultatif	Précisions encouragées (format texte)
	Référence	Cf. masque 2	Facultatif	

Masque 4 : "Facteurs fixes"

Rubriques	Variables	Modalités prédéfinies	Caractère	Commentaires
Spécification	Nom contexte	Cf masque 3	Obligatoire	
Matériels	Type ; Code ; Mémo	Cf. base de données sur matériels	Obligatoire	Cf. BCMA 2004 pour France/Europe ; Pour calcul ultérieur de coûts fixes et variables et des émissions de CO2
Terre	Valeur locative de la terre		Facultatif	
Bâtiments ? .../... ?				

Masque 5 : "Paquets"

Rubriques	Variables	Modalités prédéfinies	Caractère	Commentaires
Spécification	Nom contexte	Cf masque 3	Obligatoire	
Paquets	Nom du paquet		Obligatoire	Pour identification dans autres masques de saisie (ex. "blé tendre hivers 2005")
	Occupation précédente de la terre	4 types (culture, prairie...)	Obligatoire	Pour calcul ultérieur de Csol
	Type de paquet	6 types (culture simple, mixte...)	Obligatoire	
	Durée en mois	-	Obligatoire	
	Devise	-	Obligatoire	Unité systématiquement utilisée par la suite dans les masques de saisie
	Année (ou année de départ)	-	Obligatoire	Année systématiquement utilisée par la suite dans les masques de saisie
	Subvention	-	Facultatif	Expression suivant devise masque 3 et année masque 5 ; Subvention accordée par unité de surface cultivée
	Mémo	-	Facultatif	Précisions encouragées (format texte)

Masque 6 : "Itinéraires"

Rubriques	Variables	Modalités prédéfinies	Caractère	Commentaires
Spécification	Nom contexte ; Nom paquet	Cf masques 3 et 5	Obligatoire	
Opérations	Nom de l'opération		Obligatoire	Ex. "Labour"
	Cycle	5 types (aucun, journalier...)	Obligatoire	Valeur par défaut : "Aucun" (cas des cultures annuelles)
	Fréquence par cycle	1, 2, 3...	Facultatif	Si "Cycle" différent de "Aucun"
	Date	31 jours ; 12 mois	Facultatif	Recommandé pour modèle EPIC
	Année	1, 2, 3...	Obligatoire	Valeur par défaut : "1"
	Main d'oeuvre qualifiée	Nombre de personne(s) ; Temps total	Obligatoire	
	Main d'oeuvre non-qualifiée	Nombre de personne(s) ; Temps total	Obligatoire	
	Mémo		Facultatif	Précisions encouragées (format texte)
	Matériel(s) utilisé(s)	Cf. codes masque 4	Obligatoire	

Masque 7 : "Inputs"

Rubriques	Variables	Modalités prédéfinies	Caractère	Commentaires
Spécification	Nom contexte ; Nom paquet	Cf masques 3 et 5	Obligatoire	
Semences ou plants	Type	4 types (ferme, OGM...)	Obligatoire	
	Quantité		Facultatif	11 choix d'unités possibles
	Prix unitaire		Facultatif	
	Coût total		Obligatoire	Expression suivant devise masque 3 et année masque 5
	Date		Facultatif	Recommandé pour modèle EPIC
Fertilisants organiques	Mémo	Cf. Dates masque 6	Facultatif	
	Type		Obligatoire	
	Quantité		Obligatoire	7 choix d'unités possibles (tonne, kg, litre...)
	Prix unitaire		Facultatif	
	Coût total		Obligatoire	Expression suivant devise masque 3 et année masque 5
Fertilisants minéraux	Date	Cf. Dates masque 6	Facultatif	Recommandé pour modèle EPIC
	Mémo		Facultatif	
	Type		Obligatoire	
	Quantité		Mixte	7 choix d'unités possibles (tonne, kg, litre...) ; Obligatoire pour engrais azotés
	Prix unitaire		Facultatif	
Pesticides & autres	Coût total	Cf. Dates masque 6	Mixte	Expression suivant devise masque 3 et année masque 5 ; Obligatoire pour total NPK
	Date		Facultatif	Recommandé pour modèle EPIC
	Mémo		Facultatif	
	Type		Obligatoire	
	Quantité		Facultatif	10 choix d'unités possibles
Eau	Prix unitaire	Cf. Dates masque 6	Facultatif	
	Coût total		Obligatoire	Expression suivant devise masque 3 et année masque 5
	Date		Facultatif	Recommandé pour modèle EPIC
	Mémo		Facultatif	
	Type		Obligatoire	
Carburant	Quantité	8 choix (fuel, bois...)	Facultatif	10 choix d'unités possibles
	Prix unitaire		Facultatif	
	Coût total		Obligatoire	Expression suivant devise masque 3 et année masque 5
	Quantité		Facultatif	
	Prix unitaire		Facultatif	
Electricité	Coût total		Obligatoire	Expression suivant devise masque 3 et année masque 5
	Quantité		Facultatif	

Masque 8 : "Outputs"

Rubriques	Variables	Modalités prédéfinies	Caractère	Commentaires
Spécification	Nom contexte ; Nom paquet	Cf masques 3 et 5	Obligatoire	
Produits	Année	1, 2, 3...	Obligatoire	
	Type 1	2 types (végétal, animal)	Obligatoire	
	Type 2	21 types (céréale, fourrage, bovin...)	Obligatoire	
	Code	690 produits	Obligatoire	Cf. liste et codes produits FAO
	Rendement		Obligatoire	
	Unité de rendement		Obligatoire	11 choix d'unités possibles
	Prix de vente		Obligatoire	Expression suivant devise masque 3 et année masque 5
	Subvention		Facultatif	Expression suivant devise masque 3 et année masque 5 ; Subvention accordée par volumes produits
	Mémo		Facultatif	Précisions encouragées (format texte)

Références bibliographiques

- BCMA, 2004. TRAME. Coût prévisionnel indicatif 2004 des machines agricoles, Bureau de Coordination du Machinisme Agricole, Paris, Juin, 18 p.
- Butault J.P., Carles R., Hassan D., Reignier E., 1988. Le coût de production de divers produits agricoles dans la CEE, Archives et documents 260, Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques, Octobre,
- Carpy-Goulard Françoise, 2001. Analyse des relations agriculture-environnement par couplage d'un modèle économique à des indicateurs environnementaux. Application au secteur des grandes cultures de la région Midi-Pyrénées, Thèse de doctorat en sciences économiques, Université Montpellier I, Montpellier, 324 (+annexes) p.
- CITEPA, 2005. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France. Secten, Rapport d'inventaire national, Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique, Paris, Février, 248 p.
- Desbois Dominique, 2000. Evaluation micro-économique de la marge brute standard sur la base du RICA, Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, Décembre, 21 p.
- Deybe Daniel, Fallot Abigaïl, 2002. Marginal abatement cost functions modelling for land-use related resources, Working Paper, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Nogent sur Marne, June, 48 p.
- Deybe Daniel, Fallot Abigaïl, 2003. "Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions from Agriculture: Analysing the Room for Manoeuvre for Mitigation, in Case of Carbon Pricing", 25th International Conference of Agricultural Economists, Durban, 16-22 August, International Association of Agricultural Economists, 662-7 p.
- Dixon J., Gulliver A., Gibbon D., 2001a. Global Farming Systems Study: Challenges and Priorities to 2030. Synthesis and Global Overview, Food and Agricultural Organization of the United Nations, 98 p.
- Dixon J., Gulliver A., Gibbon D., 2001b. Systèmes d'exploitation agricoles et pauvreté. Améliorer les moyens d'existence des agriculteurs dans un monde changeant, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, 455 p.
- Fischer Jürg, 1999. Energy Inputs in Swiss Agriculture, Working Paper 99-01, Common Agricultural Policy Regional Impact analysis, Bonn, 19 p.
- Freibauer Annette, 2003. "Regionalised inventory of biogenic greenhouse gas emissions from European agriculture", European Journal of Agronomy, 19, pp. 135-60
- Freire Fausto, Malça João, Rozakis Stelios, 2002. Integrated Economic and Environmental Life Cycle Optimization: an Application to Biofuel Production in France, www.novem.nl/default.asp?menuId=10&documentId=102538 (10/02/2005)
- IPCC, 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reporting Instructions (Volume 1), Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs4.htm> (21/08/2003)
- IPCC, 2001. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change, http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/french/gpgaum_fr.htm <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/> (09/09/2004)
- IPCC, 2003a. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, Intergovernmental Panel on Climate Change, http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/lulucf/gp_lulucf_contents.htm (09/09/2004)
- IPCC, 2003b. Tools for Estimation of Changes in Soil Carbon Stocks associated with management Changes in Croplands and Grazing Lands based on IPCC Default Data (Annex 4A.1), Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/lulucf/annex4a1.htm> (09/09/2004)
- Johnson Ronald N., Libecap Gary D., 2000. Information Distortion and Competitive Remedies in Government Transfer Programs: The Case of Ethanol, www.worldbank.org/research/abcde/washington_12/pdf_files/libecap.pdf (06/04/2005)

- Malassis Louis, Padilla Martine, 1986. Economie agro-alimentaire. L'économie mondiale (III), Cujas, Paris, 449 p.
- Mazoyer Marcel, Roudart Laurence, 1997. Histoire des agricultures du monde. Du néolithique à la crise contemporaine, Seuil, Paris, 546 p.
- MEA, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, Millennium Ecosystem Assessment, World Resources Institute, Whashington D.C., 155 p.
- Pimentel David, 2003. "Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics, and Environmental Impacts Are Negative", Natural Resources Research, (12)2, pp. 127-34
- Pollet Pascale, Butault J.P., Chantry E., 2001. The Agricultural Production Costs Model, Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques, Paris, 80 p.
- Ponsioen T.C., Laborte A.G., Roetter R.P., Hengsdijk H., Wolf J., 2003. TechnoGIN-3: a technical coefficient generator for cropping systems in East and Southeast Asia, Quantitative Approaches in Systems Analysis 26, PE&RC, Wageningen, December, 72 p.
- Rotz C. Alan, Coiner Colette U., 2005. The Integrated Farm System Model, Reference Manual Version 1.4, United States Department of Agriculture, Whashington D.C., May, 137 p.
- Rozakis S., Sourie J.-C., 2005. "Micro-economic modelling of biofuel system in France to determine tax exemption policy under uncertainty", Energy Policy, 33, pp. 171–82
- Shapouri Hosein, 2003. The 2001 Net Energy Balance of Corn-Ethanol (Preliminary), <http://www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/net%20energy%20balance.pdf> (02/11/2004)
- Slinsky Stephen P., Tiller Kelly H., 1999. Application of an Alternative Methodological Approach for Budget Generators for Research, <http://apacweb.ag.utk.edu/ppap/pdf/99/saeaabs.pdf> (01/04/2005)
- Sourie J.C., Rozakis S., 2001. "Bio-fuel production system in France: an Economic Analysis", Biomass and Bioenergy, 20, pp. 483– 9
- Sourie J.C., Tréguer D., 2005. "Le développement des biocarburants dans les exploitations agricoles en France", Séminaire "Quel perspectives pour le développement des cultures bioénergétiques ?" IFRI, Paris, 29/03/2005, 32 p.